



Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электропривод и автоматика

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Регулируемый асинхронный электропривод ленточного конвейера

УДК 62-83-52:621.867.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Эрдлей Никита Олегович		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Ляпунов Д.Ю.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Киселева Е.С.	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент	Немцова О.А.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Тютеева П.В.	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты по ООП

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные</i>	
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем.</i>
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.</i>
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
<i>Универсальные</i>	
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники.</i>
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.

Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Эрдлей Никите Олеговичу

Тема работы:

Регулируемый электропривод ленточного конвейера	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№59-78/с от 20.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. Д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. Д.).</i>	Синхронная частота вращения - 3000 об/мин; Номинальное фазное напряжение - 220 В; Номинальная мощность - 37 кВт
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Немцова О.А., ассистент ООД ШБИП
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Е.С., к.э.н., доцент ОСГН ШБИП

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.02.2020
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Ляпунов Д.Ю.	К.Т.Н.		20.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Эрдлей Никита Олегович		20.02.2020

Оглавление

Реферат	9
Введение	10
1. Литературный обзор.....	11
Виды конвейеров.....	11
2.Описание технологического процесса	19
3.Кинематическая схема электропривода	20
4. Выбор электропривода.	21
5.Расчет и выбор силового оборудования системы регулируемого электропривода.....	22
5.1 Выбор электродвигателя	22
5.2 Расчет-выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого привода.....	24
5.3 Расчет и выбор типа сечения кабеля для силовой части электропривода	26
5.4.Проектирование каналов измерения (выбор датчика тока, температуры, напряжения).....	29
5.5.Датчик напряжения SV025	29
5.6.Датчик тока STS 6	31
6.Статические характеристики регулируемого электропривода.....	34
6.1 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя	34
6.2 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя	36
6.3 Расчет естественных характеристик	36
6.4 Расчет искусственных характеристик при частотном управлении	39
6.5.Динамические характеристики электропривода	42
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	48
7.1SWOT-анализ.....	48
7.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	50
7.3. Структура работ в рамках научного исследования	50
7.4. Определение трудоемкости работ	51
7.5. Разработка графика проведения научного исследования	52
7.6. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	56

7.7. Расчет материальных затрат НТИ	56
7.8.Дополнительная заработная плата исполнительной темы	59
7.10. Отчисления во внебюджетные фонды	59
7.11. Накладные расходы.....	60
7.13. Определение ресурсной эффективности исследования	61
8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	64
8.1.Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	64
8.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	65
8.3 Производственная безопасность.....	67
8.5 Экологическая безопасность.....	74
8.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	76
Заключение.....	79
Литература	80

Обозначения и сокращения

АД – асинхронный двигатель.

ЭП – электрический привод.

ПЧ – преобразователь частоты.

УПП - устройство плавного пуска.

ДН – датчик напряжения

ДТ – датчик тока

Д – датчик температуры

УМ - усилители мощности сигналов управления

СЧ - силовая часть

КМ – контакторы

ИП - источник вторичного питания

ЭМТ - электромагнитный тормоз

БЛ - блок логики

СИФУ - системы импульсно-фазового управления

ТГ - тахогенератор

БКАС - блоки коммутации аналоговых сигналов

БКДС - блоки коммутации дискретных сигналов

БВР - блок выбора режимов

ТБ - технологическая блокировка

ПУ - пульт управления

ДУ - дистанционное управление

Реферат

Выпускная квалификационная работа состоит из 82 страниц, 30 рисунков и 17 таблиц, использованных источников.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, регулятор частоты, конвейер.

Объектом исследования является электропривод ленточного конвейера на базе системы «преобразователь частоты – асинхронный электропривод». Цель работы: разработка электропривода ленточного конвейера, расчет и выбор элементов электрооборудования, исследование переходных характеристик.

Построены графики переходных процессов с учетом и без учета упругих связей, рассчитаны динамические характеристики при пуске, набросе и сбросе нагрузки.

Так же был определен расход электрической энергии за цикл работы, выбраны аппараты защиты.

ВКР выполнена в текстовом редакторе Microsoft Word 2010. Схемы и рисунки обработаны в Microsoft Visio 2011.

Введение

Электрический привод -это техническая система, которая служит для преобразования электрической энергии в механическую энергию. Эта энергия является незаменимой в различных технологических процессах в промышленности, в коммунальной сфере, сельском хозяйстве, в быту, медицине и других областях жизнедеятельности человека. Большинство агрегатов, рабочих машин, технологических комплексов и линий приводится в движение электроприводом.

В промышленности, строительстве и других отраслях довольно большое распространение получил конвейер. Его установка существенно упрощает проводимые процессы, к примеру, перемещение сыпучих материалов. Существует много разновидностей подобного устройства, которое применяется человеком на протяжении нескольких столетий. Сегодня производством подобного оборудования занимается большое количество различных компаний, при выборе подходящей модели уделяется внимание основным эксплуатационным качествам. Рассмотрим все особенности подобного механизма подробнее.

Ленточные устройства встречаются чаще других по причине универсальности в применении и относительно невысокой стоимости. Их предназначение заключается в транспортировке кусковых и других материалов на достаточно большое расстояние. Ключевая особенность заключается в том, что рабочая поверхность представлена натянутой многослойной лентой, на которой и проводится размещение различных грузов. Сегодня эта группа по причине огромного количества положительных признаков встречается крайне часто, однако не считается универсальным вариантом.

Практически во всех отраслях промышленности используются ленточные конвейеры, иначе называемые ленточные транспортеры которые обеспечивают непрерывность процессов транспортировки различных видов грузов и материалов. Их применение позволяет доставлять до нужного объекта

штучные грузы и материалы, имеющие сыпучую/кусковую структуры. Транспортировка, как в горизонтальном, так и в наклонном положении, обеспечивается за счет особой конструкции устройства. Благодаря использованию специальных транспортеров в карьерах и шахтах, осуществляется доставка не только добываемых природных ископаемых к погрузочному пункту или на предприятие, но и людей.

1. Литературный обзор

Виды конвейеров

Из-за различных видов и особенностей предприятий, стали появляться конвейеры различных типов. На рисунке 1 представлена подробная схема классификации конвейеров.

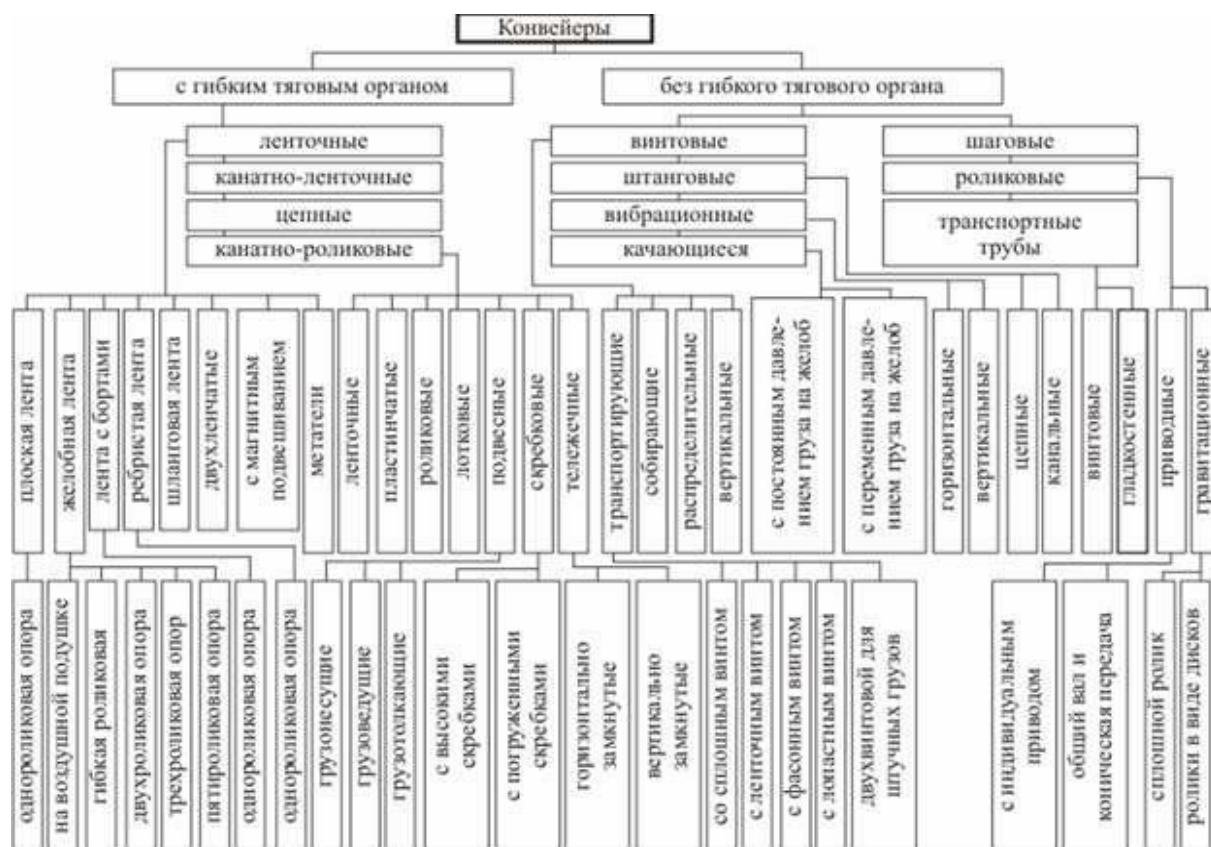


Рисунок 1 – Схема классификации конвейеров

Каждый конвейер имеет свои особенности и недостатки, при выборе конвейера их необходимо учитывать.

Пластичный конвейер. Такой тип конвейеров применяется при тяжелых грузах. Благодаря своей конструкции данный тип конвейеров более устойчив к износу, чем другие. Благодаря возможности установки неподвижных бортов или без бортового волнистого настила данный тип конвейера можно использовать и для насыпных грузов, но мелкие частицы часто попадают в щели между бортами, из-за этого возникает дополнительное сопротивление движению ленты, что увеличивает износ ленты и увеличивается энергопотребление системы конвейера. Известным примером пластичного конвейера будет эскалатор, используемый в любом метрополитене. Так же хорошим примером являются зерноуборочные комбайны, принцип работы которых такой же, как и у других планочных или прутковых конвейерных устройств, используемых в сельскохозяйственных машинах. На рисунке 2 представлен пример пластичного конвейера, используемого на производстве.



Рисунок 2 – Пластичный конвейер

Вибрационный конвейер. Принцип действия данного типа конвейеров основан на колебательном движении грузонесущего органа. Используется для мелких грузов, а также для высокоабразивных грузов, грузов с высокой температурой и других агрессивных материалов. Одно из преимуществ данного типа конвейеров – низкий износ рабочего органа из-за принципа его работы.

Так же вибрационные конвейеры (рисунок 3) с винтовым желобом при подъеме груза вертикально, на высоту не более 12 метров на один привод,отлично конкурируют с другими установками для вертикального подъема грузов, например, с элеваторами. Приводы в виброконвейерах чаще всего используются механические, а такжеэлектромагнитные.



Рисунок 3 – Вибрационный конвейер

Скребковый конвейер. У данного типа конвейеров рабочая поверхность располагается не сверху, как у большинства других, а снизу.

Данная конструкция помогает конвейеру протаскивать скребками сыпучие или мелкоштучные грузы. Скребок конвейеры разделяют на два вида: конвейеры с очень высокими скребками и конвейеры, имеющие погруженные скребки. Одно из главных преимуществ данного конвейера это возможность передвигать груз без особой перегрузки на довольно сложных трассах и крутых поворотах. Но есть и существенные недостатки, такие как быстрый износ желоба и рабочих скребков, а также высокое энергопотребление. На рисунке 4 представлен скребковый конвейер, который используется для перемещения насыпных грузов.



Рисунок 4 – Скребковый конвейер

Подвесной конвейер. Особенность данного типа в том, что он чаще всего находится в подвешенном состоянии, например, к потолку, благодаря этому снимается ограничения нагрузки на пол около конвейера. Разделяется данный конвейер на несколько видов: грузонесущие конвейеры, толкающие, грузоведущие и комбинированные.

Тяговым элементов в данной системе является, расположенная в горизонтальной плоскости, цепь или канат, прикрепленная к приводу. Специально оборудованные каретки, отличающиеся от вида подвесного конвейера, являются грузонесущим элементом.

Популярность подвесной конвейер (рисунок 5) получил почти во всех промышленных отраслях, таких как пищевая, машиностроение, химических промышленностей. Обладает подвесной конвейер и рядом преимуществ, такие как высокая производительность, относительно малый расход энергии, возможность автоматизации.

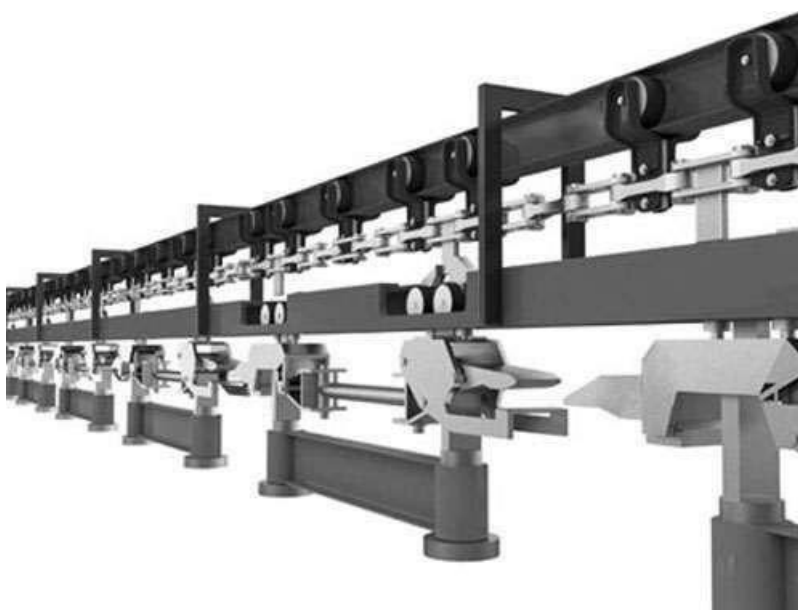


Рисунок 5 – Подвесной конвейер

Рольганг. Принципиальное отличие данного конвейера заключается в его устройстве. Он не имеет рабочей поверхности, как в предыдущих случаях, но имеет синхронно работающие ролики. Применяются в основном для несypучих грузов, только для крупногабаритного груза, актуальны в тех случаях, когда применить ленточные конвейеры невозможно или нецелесообразно. Конструкция рольганга должна быть прочной, т.к. условия работы данных конвейеров чаще всего очень сложные из-за постоянных нагрузок, ударов тяжелых грузов, высоких температур и зачастую сильной запыленности. Ролики и рамы для рольгангов выполняют из конструкционной, нержавеющей, закаленной стали. Подразделяются рольганги на гравитационные, приводные, гибкие гравитационные. Гравитационные рольганги работают под действием силы тяжести груза, который перемещается по конструкции. Такие рольганги устанавливают под определенным, заранее рассчитанным углом. Пример рольганга можно увидеть на рисунке 6.



Рисунок 6 – Рольганг

В приводных рольгангах некоторые ролики в цепи имеют групповой привод от общего привода. Особенность данного типа конвейера – постоянная скорость движения ленты и грузов по ленте. У гибких гравитационных конвейеров особенность в их растягивающейся, подобно гармошке, раме. Они предназначены, в основном, для упакованных товаров, грузов.

Винтовой конвейер. Данный вид один из самых «древних» видов конвейеров. Принцип аналогичен обычной шнековой мясорубки. Предназначен для сыпучих веществ. Могут доставлять груз не только горизонтально, но и под углом, а также и вертикально. Обладают винтовые конвейеры рядом достоинств, такими как компактность и простота конструкции, нет наружных подвижных частей, а также легки в использовании и уходе за конвейером. Но есть и существенные недостатки: высокое и экономически не выгодное потребление мощности, частичное дробление груза, небольшая длина транспортировки. Из-за постоянного перемешивания груза повышается и износ желоба и винта, особенно при транспортировке абразивных грузов.

Винтовой конвейер довольно-таки легко герметизировать, что позволяет использовать его и для транспортировки опасных и вредных химических грузов.



Рисунок 7 – Винтовой конвейер

Ленточный конвейер. Одни из наиболее распространенных видов конвейеров. Популярность ленточный конвейер (рисунок 8) приобрел из-за простоты конструкции, надежности, и универсальностью транспортировки грузов различных видов. Их можно использовать для транспортировки штучных и сыпучих грузов. На короткие и длинные дистанции. Помимо своей универсальности, ленточные конвейеры обладают и рядом других преимуществ: благодаря своей конструкции, конвейеры данного типа обладают малой массой, что значительно упрощает конструирование конвейера; также лента данного типа может развивать большие скорости, относительно других видов, скорости ленты могут достигать 6-8м/с.

Высокая производительность ленточных конвейеров может достигать до 30000 т/ч при необходимых условиях; а также благодаря своей легкой конструкции ленточные конвейеры очень гибкие, что позволяет проделывать сложные трассы с различными изгибами и наклонами.

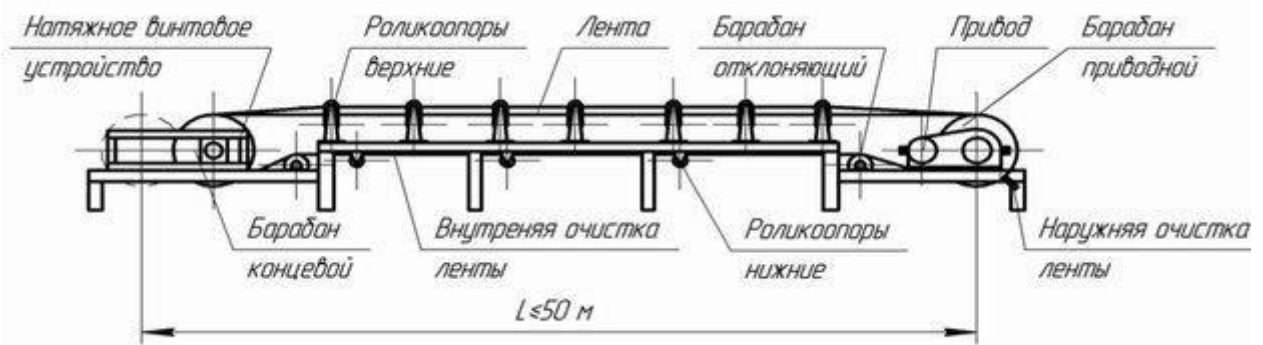


Рисунок 8 – Ленточный конвейер

Но ленточные конвейеры имеют и недостатки, к таким недостаткам относятся высокая стоимость конвейерной ленты и роликоопор, непостоянное натяжение ленты, в результате часто возникает чрезмерное натяжения и разрыв ленты, резкое падение производительности, если возрастает угол подъема ленты.

2.Описание технологического процесса

Перемещение насыпных или штучных грузов по заданному маршруту без остановок для погрузки и разгрузки характеризуются машинами непрерывного действия.

Транспортируемый насыпной груз располагается на несущем элементе машины в виде сплошной массы или отдельными частями в непрерывно - движущихся рабочих коробках, сосудах-ковшах и т.п., которые располагаются последовательно на сравнительно небольшом расстоянии от друг друга.

Штучные грузы также перемещаются в непрерывном потоке, в заданной последовательности друг за другом. В этом случае рабочее и холостое (обратное) движение элемента машины, несущего груз, происходит одновременно. Такие важные свойства, как непрерывность движения груза, отсутствие остановок для погрузки и разгрузки, обусловили

высокую производительность, что является важным аспектом для современных предприятий с большим объемом транспортировки груза.

К примеру, при открытой добыче угля современный ленточный конвейер может транспортировать до 20 000 т/ч вскрышных пород, при этом загружая шесть железнодорожных вагонов в минуту. Схема технологического процесса представлена на рисунке 9.



Рисунок 9 – Технологический процесс транспортирования дозирования сыпучих материалов.

Тяговым элементом ленточного конвейера является замкнутая транспортерная лента. Она приводится в движение мотор-редуктором с помощью приводного барабана за счет силы трения между барабаном и лентой. Применяются для транспортирования каменного угля, шлака, грунта и других сыпучих, штучных, кусковых материалов.

3. Кинематическая схема электропривода

Назначение привода можно определить как приведение в движение тягового элемента конвейера, а так же груза. Кинематическая схема ленточного транспортера представлена на рисунке 10.

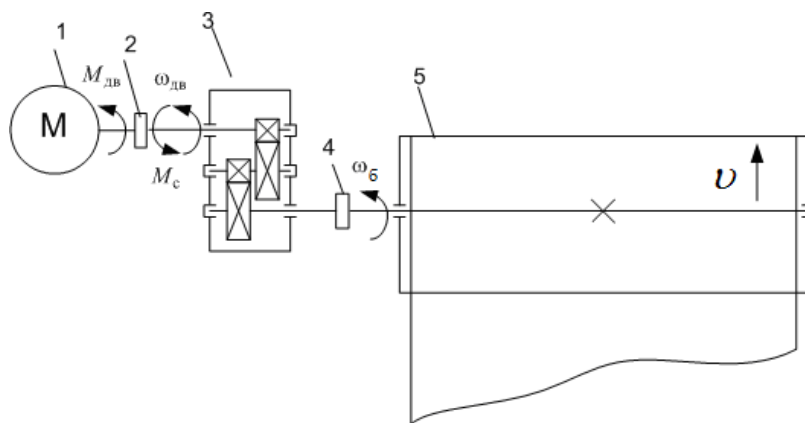


Рисунок – 10 кинематическая схема ленточного конвейера

На кинематической схеме на приведенном рисунке 2 примем следующие обозначения: 1 – электродвигатель; 2, 4 – жесткая муфта; 3 – редуктор; 5 – приводной барабан; $M_{дв}$ - вращающий момент, который развивает приводной двигатель; M_c – момент сопротивления механизма; $\omega_б$ и $\omega_{дв}$ – угловые скорости, развиваемые барабаном и двигателем; v – скорость ленты.

4. Выбор электропривода.

Для того, чтобы конвейерная лента пришла в движение, к конструкции подключают двигатель. При разных задачах, а так же при разных технологических условиях используются различные двигатели. Популярность получили асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором и повышенным пусковым моментом. Но при необходимости в регулировании скорости у однодвигательного привода конвейера применяются дополнительные устройства, передающие крутящий момент – механические или регулируемые электрические вариаторы, а также дополнительные гидравлические муфты.

При большой протяжности цепи конвейеров, а в некоторых ситуациях длина конвейерной ленты может достигать нескольких километров, например, при добыче руды, в таких случаях принято использовать многодвигательные приводы. В ситуациях, где используется

многодвигательный привод, каждый тяговый орган отдельной приводной станции передает усилие, пропорциональное статическому сопротивлению только одного своего участка, а не всей конвейерной цепи. При этом выбор места установки тягового элемента выбирается из расчетов и диаграмм изменения усилий напряжения. А их количество и количество приводных станций определяется технико-экономическими расчетами.

5. Расчет и выбор силового оборудования системы регулируемого электропривода

5.1 Выбор электродвигателя

Мощность является главным аспектом выбора двигателя. Номинальная мощность выбранного двигателя должна быть больше мощности, рассчитанной с помощью исходных данных. Исходные данные предоставлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные к работе

Синхронная частота вращения	3000 об/мин
Номинальное фазное напряжение	220 В
Номинальная мощность	37 кВт

Для конвейеров необходимая мощность определяется по формуле:

$$P = \frac{k \cdot N_0}{\eta} = 33,4 \text{ кВт}$$

Выбран двигатель 4А200М2У3 с номинальной мощностью 37000 Вт, изображенный на рисунке 7. Из расчета видно, что данный двигатель подходит для привода конвейера

$$P_{\text{ном}} = 37000 \text{ кВт} \geq P_{\text{рас}} = 33,4 \text{ кВт}$$

Условие выполняется.

Таблица 2 – Техническая характеристика двигателя 4А200L2У3

$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$n_{\text{ном}}, \%$	$n_{\text{ном}}, \%$	$\cos \varphi_{\text{н}}$	$s_{\text{н}}, \%$	$m_{\text{п}}$	$m_{\text{к}}$	$m_{\text{м}}$	$k_{i,\text{дв}}$
37	90	0,89	1,9	1,4	2,5	1,0	7,5	0,0015
Типоразмер электродвига- теля	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	Энергетические показатели		Параметры замещения, о.е				
				x'_{μ}	В номинальном режиме			
		$n_{\text{ном}}, \%$	$\cos \varphi_{\text{н}}$		R'_1	x''_1	R''_2	x''_2
4А200М2У3	37.0	91.0	0.91	3.6	0.035	0.084	0.019	0.1

Определение дополнительных параметров двигателя по справочным техническим данным:

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 3000}{30} = 314,159 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальная угловая частота вращения двигателя

$$\omega_{\text{дв.н}} = (1 - s_{\text{н}}) \cdot \omega_0 = (1 - 0,019) \cdot 314,159 = 308,19 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{37000}{308,19} = 120,129 \text{ Нм}.$$

КПД:

$$\eta_{\text{н}} = 0,9.$$

Номинальное фазное напряжение и номинальный фазный и линейный ток (действующие значения) статора при схеме соединения обмоток звезда:

$$U_{1\text{фн}} = \frac{U_{1\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}.$$

$$I_{1\text{фн}} = I_{1\text{лн}} = I_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{н}}} = \frac{37000}{3 \cdot 220 \cdot 0,89 \cdot 0,9} = 69,988 \text{ А}.$$

Максимальный потребляемый ток двигателя при прямом пуске

$$I_{1\text{макс}} = k_{i,\text{дв}} \cdot I_{1\text{лн}} = 7,5 \cdot 69,988 = 524,912 \text{ А.}$$

Критический момент двигателя на естественной характеристике

$$M_{\text{к}} = m_{\text{к}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 300,139 \text{ Нм}$$

Пусковой момент двигателя при прямом пуске

$$M_{\text{дв.пуск}} = m_{\text{п}} \cdot M_{\text{дв.н}} = 168,078 \text{ Нм}$$

5.2 Расчет-выбор преобразовательного устройства для системы регулируемого привода

До недавнего времени главными недочётами асинхронных электродвигателей были сложность и неэкономичность регулирования их частоты вращения, а плавная регулировка двигателей с короткозамкнутым ротором была практически невозможна. Однако, регулировка частоты вращения была необходима для привода механизмов, работающих с переменной нагрузкой и используемых для изменения расходов.

Частотно-регулируемый привод содержит асинхронный двигатель М и преобразователь частоты ПЧ (рисунок 11)

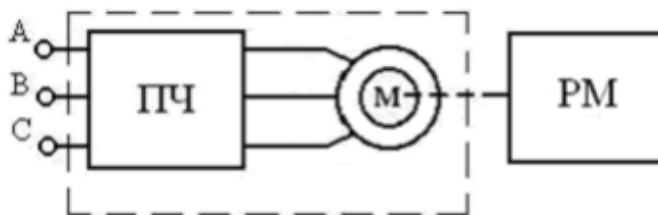


Рисунок 11 – Общая структура ЧРП

Рабочий механизм приводится в движение электрическим двигателем. Принцип регулирования частоты вращения ротора асинхронного двигателя основан на изменении частоты вращающегося магнитного поля, создаваемого статором двигателя.

В более широко используемом частотно-регулируемом приводе на основе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором используются скалярный и векторный вид управления.

При скалярном управлении одновременно изменяют амплитуду и частоту подаваемого на двигатель напряжения.

ПЧ включает в себя систему управления, шины постоянного тока и выпрямитель. Синусоидальное напряжение на входе с неизменной амплитудой и частотой выпрямляется в звене постоянного тока В, далее сглаживается фильтром, который состоит из дросселя L_B и конденсатора фильтра C_B , а затем снова преобразуется в переменное напряжение изменяемой частоты и амплитуды инвертором АИН. Регулирование выходной частоты $f_{\text{вых}}$ и напряжения $U_{\text{вых}}$ осуществляется в инверторе с помощью высокочастотного широтно-импульсного управления. Широтноимпульсное управление определяется периодом модуляции, внутри которого обмотка статора электродвигателя подключается поочередно к отрицательному и положительному полюсам выпрямителя.

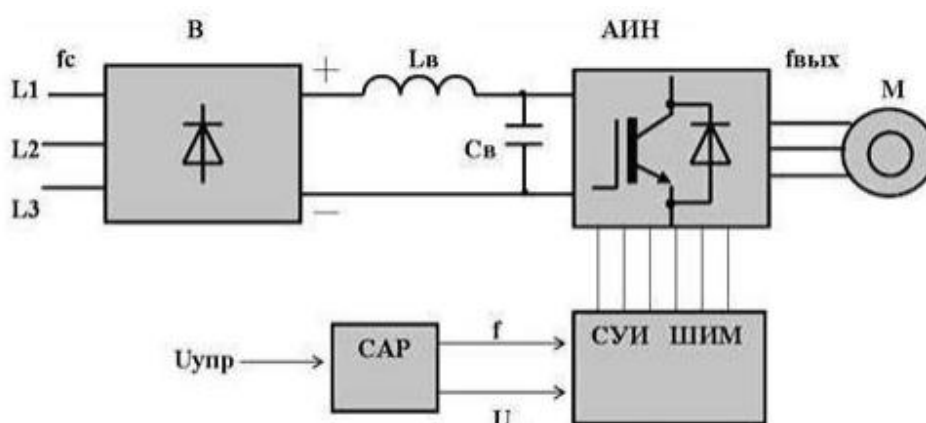


Рисунок 12 – Структурная схема частотного преобразователя

Система управления СУИ производит широтно-импульсную модуляцию (ШИМ) напряжения, прикладываемого к обмоткам двигателя. Частота и

амплитуда напряжения характеризуются параметрами модулирующей синусоидальной функции. На выходе ПЧ образуется трехфазное переменное напряжение регулируемой частоты и амплитуды.

ПЧ выбирается при условии $I_{н\text{ ПЧ}} \geq 1,25I_{н\text{ дв}}$ $25 \geq 18,9$

Преобразователь частоты ПЧ-60

Температура окружающего воздуха: От минус 50 до 50°C (для климатического исполнения УХЛ2). От минус 20 до 55°C (для климатического исполнения Т2). Относительная влажность окружающего воздуха: 98% при 30°C (для климатического исполнения УХЛ2). 98% при 35°C (для климатического исполнения Т2). Высота над уровнем моря до 4300 м. . Устойчивость к механическим воздействиям по группе М18 ГОСТ 17516-72. По технике безопасности преобразователь соответствует требованиям ГОСТ 12.2.007.1-75. Степень защиты преобразователя соответствует IP21 ГОСТ 17494-87. По способу защиты от поражения электрическим током преобразователь относится к классу 1. ГОСТ 12.2.007.0-75. Пожарная безопасность преобразователя соответствует требованиям ГОСТ 12.1.004-91. Преобразователь соответствует требованиям ТУ16-89 ИДБП.526781.001ТУ.

5.3 Расчет и выбор типа сечения кабеля для силовой части электропривода

Выбор типа проводников и конструкции сети проводится с учетом окружающей среды помещений цехов. В цеховых сетях до 1000 В используются электропроводки, комплектные шинопроводы, кабельные линии. Способ прокладки питающей сети определяется в зависимости от характера окружающей среды.

Провода предназначены для передачи электрической энергии в воздушных электрических сетях (ЛЭП). Провода применяются для эксплуатации на суше в районах с умеренным и холодным климатом. Прокладываются в атмосфере с содержанием сернистого

газа не более 120 мг/м³ х сут. и хлоридов менее 0,3 мг/м³ х сут. Длительно-допустимая температура проводов в процессе эксплуатации не должна превышать плюс 90°С.

Кабель марки ПВ имеет:

Рабочее напряжение 0 – 3 кВ
Допустимую температуру окружающей среды от –50°С до +90°С
Срок службы кабеля ПВ - не менее 30 лет.

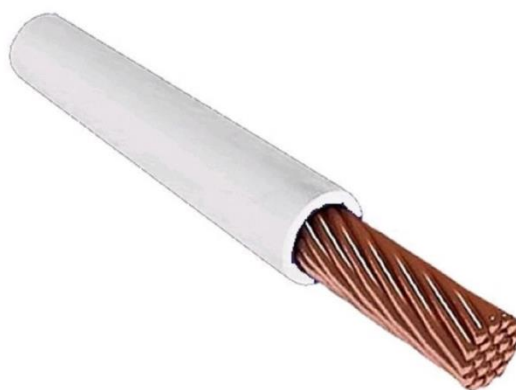


Рисунок 13 – кабель марки ПВ-1(1х120)

3.4 Расчёт потерь напряжения в кабеле

Расчет потерь линейного (между фазами) напряжения кабеле при производится по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta U(B) &= \frac{P \cdot R \cdot l + Q \cdot X \cdot l}{U_{\text{л}}} \\ &= \frac{34,3 \cdot 10^3 \cdot 2,97 \cdot 10^{-3} \cdot 100 + 2,5 \cdot 10^3 \cdot 0,09 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{380} \\ &= 19,454\text{В}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta U(\%) &= \frac{P \cdot R \cdot l + Q \cdot X \cdot l}{U_{\text{л}}^2} \\ &= \frac{34,4 \cdot 10^3 \cdot 2,97 \cdot 10^{-3} \cdot 100 + 1,6 \cdot 10^3 \cdot 0,09 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{380^2} \\ &= 0,25\%\end{aligned}$$

X - удельное индуктивное сопротивление, для кабелей с медными жилами 0,09 Ом/км;

P - активная мощность передаваемая по линии, Вт;

Q - реактивная мощность передаваемая по линии, Вар;

R - удельное активное сопротивление для кабелей с медными жилами 2,97 Ом/км;

L - длина кабельной линии, м;

Uл - линейное напряжение сети, В;

Uф - фазное напряжение сети, В.

Проверить сечение кабеля по условию соответствия выбранному аппарату максимальной токовой защите:

Выбираем кабель марки ПВ-3(3х120), у которого $I_{\text{доп}} = 120 \text{ A}$;

$$I_{\text{доп}} = 120 \text{ A} \geq I_{\text{ном}} = 60 \text{ A};$$

Проверка сечения проводника по условию соответствия аппарату защиты:

$$I_{\text{доп}} = 120 \text{ A} \geq \frac{I_3 \cdot K_3}{K_{\text{прокл}}} = \frac{60 \cdot 1}{1} = 60 \text{ A}$$

Выбираем предохранитель НПН2-80, $I_{\text{вс}} = 40 \text{ A}$;

Проверка: $I_{\text{ном.пр.}} = 60 \geq I_{\text{вс}} = 40 \text{ A}$

$$I_{\text{вс}} = 25 \text{ A} \geq I_{\text{дл}} = I_{\text{ном}} = 60 \text{ A}$$

$$I_{\text{вс}} = 25 \text{ A} \geq \frac{I_{\text{кр}}}{\alpha} = \frac{I_{\text{пуск}}}{\alpha} = \frac{300}{2,5} = 120 \text{ A}$$

$$\text{где } I_{\text{пуск}} = 5 \cdot I_{\text{р}} = 5 \cdot 60,699 = 300 \text{ A}$$

α - коэффициент, характеризующий условия пуска двигателя. Для легкого пуска: $\alpha = 2,5$.

Значит $I_3 = 120 \text{ A}$.

Выбираем автомат серии ВА13-25 $I_{\text{ном}} = 25 \text{ A}$

$$I_{\text{н.расц.}} = 25 \text{ A} \geq I_{\text{дл}} = I_{\text{ном}} = 60 \text{ A}$$

$$I_{\text{кз.}} \geq 1,5 \cdot I_{\text{пуск.}} = 1,5 \cdot 300 = 450 \text{ A},$$

$$\text{где } I_{\text{кз.}} = k \cdot I_{\text{н.расц.}} = 4 \cdot 55 = 228 \text{ A}.$$

5.4.Проектирование каналов измерения (выбор датчика тока, температуры, напряжения)

5.5.Датчик напряжения SV025

Отличительные особенности

- Компенсационный датчик на эффекте Холла
- Изолирующий пластиковый негорючий корпус,
- Расширенный температурный диапазон -50 °С .. + 85 °С

$$U_{PH} = 10 \dots 500V$$

$$I_{PH} = 10mA$$



Рисунок 14 – Датчик напряжения SV025

Преимущества:

- Отличная точность
- Хорошая линейность
- Низкий температурный дрейф
- Оптимальное время отклика
- Широкий частотный диапазон
- Высокая помехозащищенность
- Высокая перегрузочная способность

Применение:

- Частотно-регулируемые приводы переменного тока
- Статические преобразователи постоянного тока

- Системы управления работой аккумуляторных батарей.
- Источники бесперебойного питания (ИБП)
- Источники питания для сварочных агрегатов

I_{PN}	Номинальный входной ток, эфф.знач.	10	мА
I_P	Диапазон преобразования	0 .. ± 20	мА
R_M	Величина нагрузочного резистора	R_{Mmin} R_{Mmax}	
	при $\pm 12\text{ V}$	при $\pm 10\text{ mA}_{max}$	30 190 Ом
		при $\pm 20\text{ mA}_{max}$	30 100 Ом
	при $\pm 15\text{ V}$	при $\pm 10\text{ mA}_{max}$	100 350 Ом
		при $\pm 20\text{ mA}_{max}$	100 350 Ом
I_{SN}	Номинальный аналоговый выходной ток	25	мА
K_N	Коэффициент преобразования	2500 : 1000	
V_C	Напряжение питания ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	В
I_C	Ток потребления	10 (@ $\pm 15\text{ В}$) + I_S	мА
V_d	Электрическая прочность изоляции, 50 Гц, 1 мин	4.1	кВ

Точностно-динамические характеристики

X	Точность преобразования при $I_{PN}, T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.8	%
ε_L	Нелинейность	< 0.2	%

		Средн	Макс	
I_O	Начальный выходной ток при $I_P = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$		± 0.15	мА
I_{OT}	Температурный дрейф I_O		± 0.25	мА
	- $40^\circ\text{C} \dots +85^\circ\text{C}$		± 0.50	мА
	- $50^\circ\text{C} \dots -40^\circ\text{C}$		± 0.50	мА
t_r	Время задержки при 90 % от I_{Pmax}	20		мкс

Справочные данные

T_A	Рабочая температура	- 50 .. + 85	$^\circ\text{C}$
T_S	Температура хранения	- 50 .. + 90	$^\circ\text{C}$
R_P	Входное внутреннее сопротивление при $T_A = 85^\circ\text{C}$	135	Ом
R_S	Выходное внутреннее сопротивление при $T_A = 85^\circ\text{C}$	117	Ом
m	Вес	22	г

Рисунок 15 – Параметры датчика напряжения.

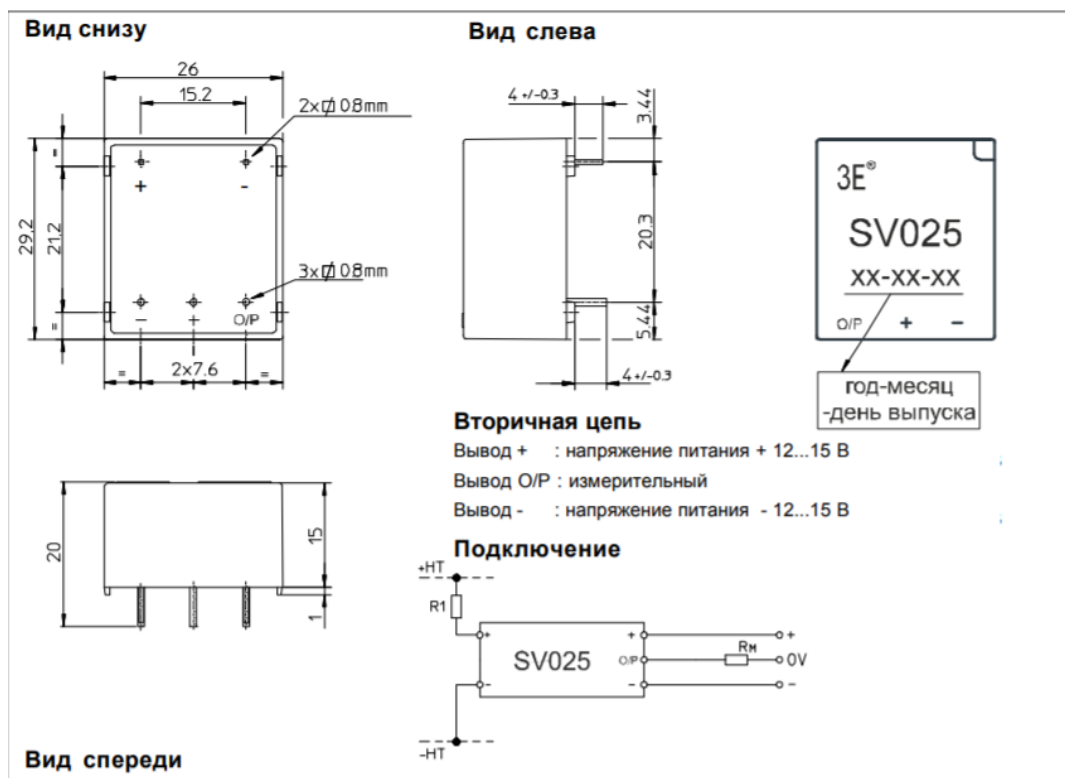


Рисунок 16 – Размеры SV025.

5.6. Датчик тока STS 6

Отличительные особенности:

- Датчик на эффекте Холла
- Однополярное питание +5В
- Разработан для установки на печатную плату
- Адаптирован к применению в микропроцессорных системах
- Встроенный измерительный резистор
- Изолирующий пластиковый негорючий корпус
- Расширенный диапазон преобразования.

$$I_{PH} = 2, 3, 6 \text{ A}$$

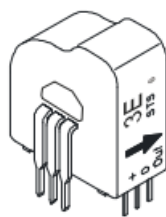


Рисунок 17– Датчик тока STS 6

Преимущества

- Отличная точность
- Хорошая линейность
- Высокая перегрузочная способность
- Широкий частотный диапазон

Применение

- Частотно-регулируемый привод переменного тока
- Преобразователи для привода постоянного тока
- Системы управления работой аккумуляторных батарей
- Источники бесперебойного питания
- Программируемые источники питания
- Источники питания для сварочных агрегатов.

Электрические параметры			
I_{PN}	Номинальный входной ток, эфф. значение	6	А•вит
I_P	Диапазон преобразования	$0 \dots \pm 19.2$	А•вит
V_{OUT}	Выходное напряжение, при $I_P = 0$	$2.5^{1)}$	В
	при I_P	$2.5 \pm (0.625 \cdot I_P / I_{PN})$	В
R_L	Сопротивление нагрузки	≥ 2	кОм
N_S	Число вторичных витков ($\pm 0.1 \%$)	960	
R_{IM}	Встроенный измерительный резистор ($\pm 0.1 \%$)	100	Ом
TCR_{IM}	Температурный дрейф измерительного резистора	< 50	ppm/K
V_C	Напряжение питания ($\pm 5 \%$)	5	В
I_C	Потребляемый ток при $I_P = 0$, $V_C = 5$ В	$25 + I_S^{2)} + (V_{OUT} / R_L)$	мА
V_d	Электрическая прочность изоляции, 50 Hz, 1 мин	3	кВ

Точно-динамические характеристики			
X	Точность преобразования при I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	± 0.2	%
X_G	Полная точность преобразования при I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	$\pm 0.7^{3)}$	%
ε_L	Нелинейность	< 0.1	%
Макс. знач.			
TCV_{OUT}	Температурный дрейф V_{OUT} при $I_P = 0$ - $40^\circ\text{C} \dots + 85^\circ\text{C}$	0,5	мВ/K
TCE_G	Температурный дрейф коэфф. преобразования, - $40^\circ\text{C} \dots + 85^\circ\text{C}$	$50^{4)}$	ppm/K
V_{OM}	Гистерезис выходного напряжения при $I_P = 0$, после прохождения тока	<div> $3 \times I_{PN}$ ± 0.5 мВ </div> <div> $5 \times I_{PN}$ ± 2.0 мВ </div> <div> $10 \times I_{PN}$ ± 2.0 мВ </div>	
t_r	Время задержки при 90 % от $I_{P \max}$	< 400	нС
di/dt	Скорость нарастания входного тока	> 50	А/мкс
f	Частотный диапазон (0 .. 0.5 дБ)	0 .. 100	кГц
	(- 0.5 .. 1 дБ)	0 .. 200	кГц

Справочные данные			
T_A	Рабочая температура	- 40 .. + 85	$^\circ\text{C}$
T_S	Температура хранения	- 50 .. + 100	$^\circ\text{C}$
m	Вес	10	г

Рисунок 18– Параметры датчика тока.

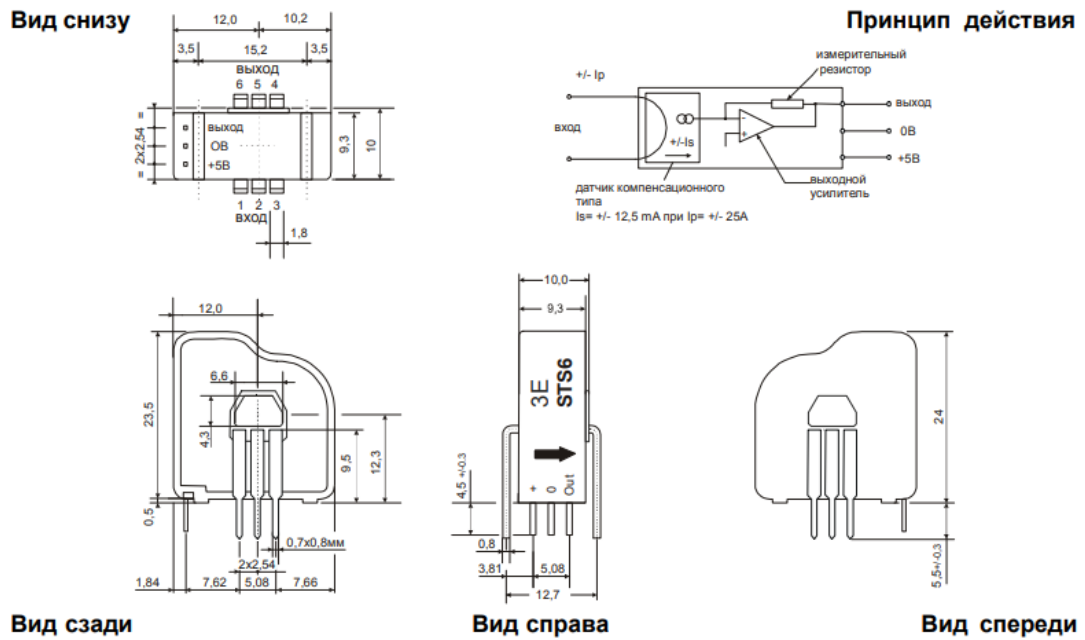


Рисунок 19 – Размеры STS 6

6. Статические характеристики регулируемого электропривода

6.1 Расчет параметров схемы замещения асинхронного двигателя

Определение параметров схемы замещения в абсолютных единицах по параметрам схемы замещения в относительных единицах

Активное сопротивление обмотки статора

$$R_1 = R'_1 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,091 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора

$$X_{1\sigma} = x'_1 \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,295 \text{ Ом}$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,295}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 9,405 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Приведенное к обмотке статора активное сопротивление обмотки ротора

$$R_2 = R_2'' \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,666 \text{ Ом}$$

Приведенное к обмотке статора индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора

$$X'_{2\sigma} = x_2'' \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 0,377 \text{ Ом}$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния

$$L_{2\sigma} = \frac{X'_{2\sigma}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,377}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,201 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания при номинальном режиме

$$X_{кн} = X_{1\sigma} + X'_{2\sigma} = 0,295 + 0,377 = 0,673 \text{ Ом}$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания (главное индуктивное сопротивление)

$$X_\mu = X'_\mu \cdot \frac{U_{1\phi H}}{I_{1\phi H}} = 3 \cdot \frac{220}{69,996} = 9,43 \text{ Ом}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре, создаваемым суммарным действием токов статора (индуктивность контура намагничивания)

$$L_m = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{43,705}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0,03 \text{ Гн}$$

Ток холостого хода двигателя

$$I_0 = \frac{E_1}{X_\mu} = \frac{205,478}{9,43} = 21,789 \text{ А}$$

где

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\phi H} \cdot \cos \varphi_H - I_{1\phi H} \cdot R_1)^2 + (U_{1\phi H} \cdot \sin \varphi_H - I_{1\phi H} \cdot X_{1\sigma})^2} = 205,478 \text{ В}$$

– ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора (главным полем) в номинальном режиме.

6.2 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_{\mu}'} \right)^2 \right]} = 121,963 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{эм.н}}^{**} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_m}{L_m + L_{2\sigma}} \cdot \Psi_{2H} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1H}^2 - I_0^2} = 250,969 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$\text{где } \Psi_{2H} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 21,789 \cdot 0,3 = 0,904 \text{ Вб}$$

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{об.н}} < M_{\text{эм.н}}^* \leq 1,1 \cdot M_{\text{об.н}}; \quad M_{\text{эм.н}}^* \approx M_{\text{эм.н}}^{**}$$

Условия выполняются:

$$18,123 < 19,099 \leq 19,935$$

6.3 Расчет естественных характеристик

Естественная механическая характеристика $M_{\text{эм}}(s)$ электродвигателя для частоты $f_{1H} = 50 \text{ Гц}$ рассчитывается по выражению:

$$M_{\text{эм}}(s) = \frac{3 \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2''}{\omega_0 \cdot s \cdot \left[X_{\text{кн}}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2''}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2''}{s \cdot X_{\mu}'} \right)^2 \right]}$$

где – $M_{\text{эм}}$ электромагнитный момент двигателя, $\text{Н} \cdot \text{м}$.

По результатам расчета строится механическая характеристика $\omega(M_{эм})$ (рисунок 18), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению: $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$

Параметры характерных точек на естественной механической характеристике двигателя:

– значение электромагнитного номинального момента при номинальном скольжении s_n :

$$M_{эм}(s_n) = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2 \cdot R_2''}{\omega_0 \cdot s_n \cdot \left[X_{кн}^2 + \left(R_1 + \frac{R_2''}{s_n} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2''}{s_n \cdot X_{\mu}'} \right)^2 \right]}$$

– значение критического скольжения:

$$s_k = R_2' \cdot \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2}{R_1^2 + X_{кн}^2}} = 0,97$$

– значения угловой критической скорости вращения двигателя:

$$\omega_{кр} = \omega_0 \cdot (1 - s_{кр}) = 283,608 \text{ рад/с}$$

– значение электромагнитного критического момента при критическом скольжении:

$$M_{эм}(s_k) = M_{эм.к} = \frac{3 \cdot U_{1фн}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot \left[R_1 + \sqrt{(R_1^2 + X_{кн}^2) \cdot \left[1 + \left(\frac{R_1}{X_{\mu}} \right)^2 \right]} \right]}$$

На рисунке 20 представлена естественная механическая характеристика $\omega = f(M)$ для асинхронного двигателя.

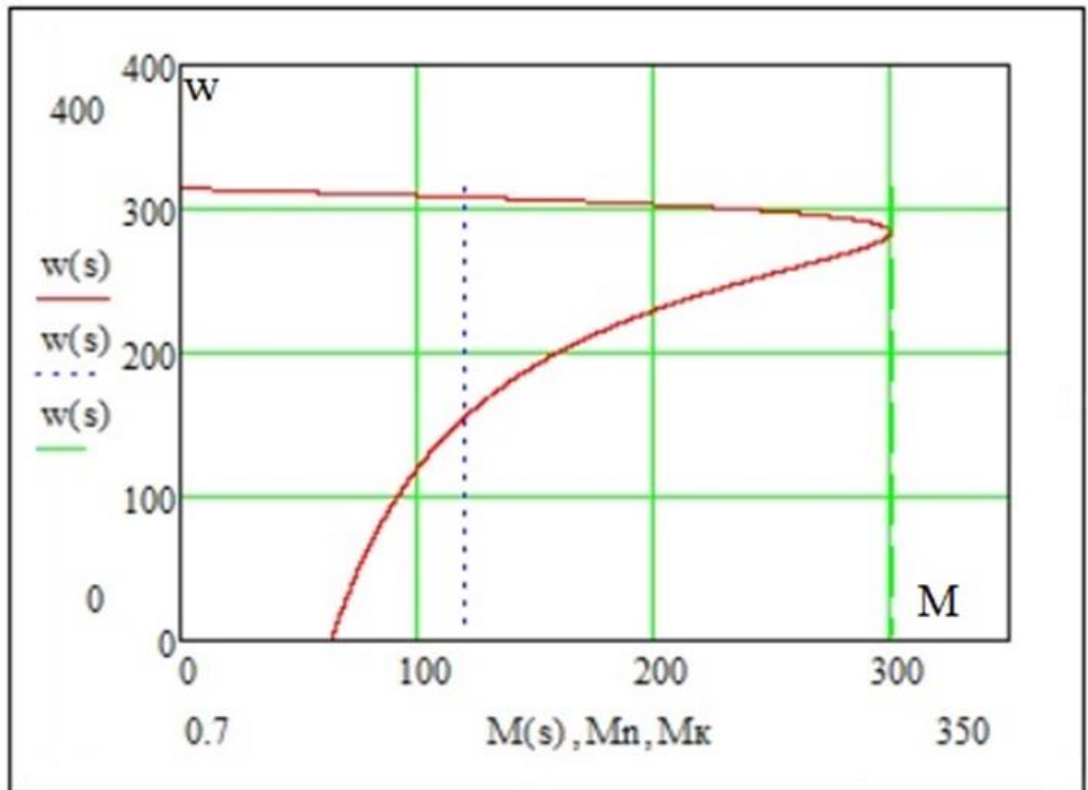


Рисунок 20 - Естественная механическая характеристика АД

На основании полученной характеристики можно сделать вывод, что привод полностью обеспечивает заданную область работы.

Естественные электромеханические характеристики $I_1(s)$ и $I_2'(s)$ электродвигателя рассчитывается для частоты по выражению $f_{1n} = 50 \text{ Гц}$:

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2(s) + 2I_0 \cdot I_2'(s) \cdot \sin \varphi(s)}$$

где – $I_1 = I_{1\phi}$ действующее значение фазного тока двигателя, А
– приведенный к обмотке статора ток ротора;

$$I_2'(s) = \frac{U_{1\phi n}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\kappa n}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}$$

– действующее значение тока холостого хода, А;

$$\text{где } \sin \varphi_2(s) = \frac{X_{\kappa n}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\kappa n}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu}\right)^2}}$$

По результатам расчета строятся электромеханические характеристики $I_1(\omega)$ и $I_2'(\omega)$ (Рисунок 21), где значения угловой скорости вращения двигателя находятся по выражению: $\omega = \omega_0 \cdot (1 - s)$.

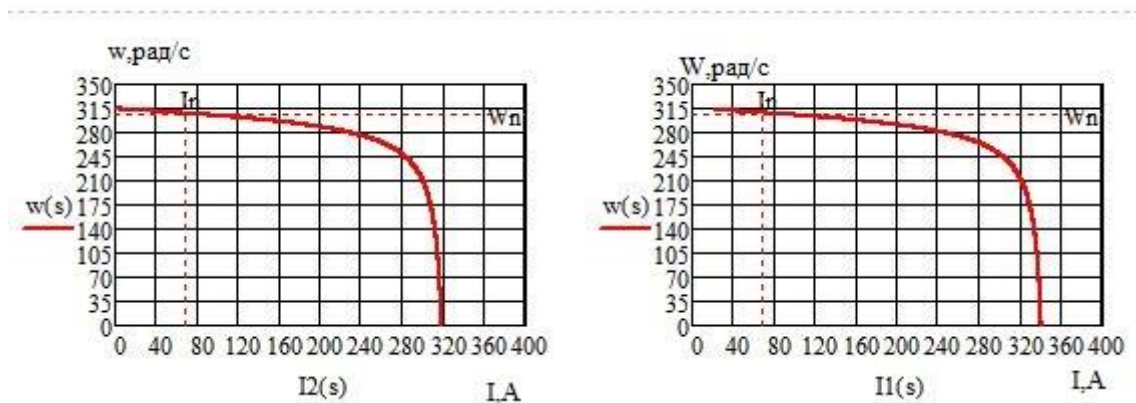


Рисунок 21 – Естественная электромеханическая характеристика асинхронного двигателя

6.4 Расчет искусственных характеристик при частотном управлении

Рассчитать и построить электромеханические и механические характеристики разомкнутой системы "ПЧ – АД" для различных задающих напряжений. Произвести анализ полученных результатов.

Для разомкнутой системы "ПЧ – АД" построим электромеханические и механические характеристики при действующем значении частоты равными:

$$f_j = \frac{f_i}{f_n}$$

$$f_1 = 1; f_2 = 0.8; f_3 = 0.6; f_4 = 0.4.$$

Рассчитаем электромеханические характеристики АД $I_2' = f(\omega)$ при различных значения частот обмоток статора:

$$I_2'(s) = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + X_k^2 \cdot f_1 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_\mu \cdot f_1})^2}},$$

где, $s_j = \frac{\omega_{0j} - \omega}{\omega_{0j}}$ - относительное скольжение.

$$U_j = U \cdot f_j$$

Электромеханическая характеристика представлена на рисунке 22.

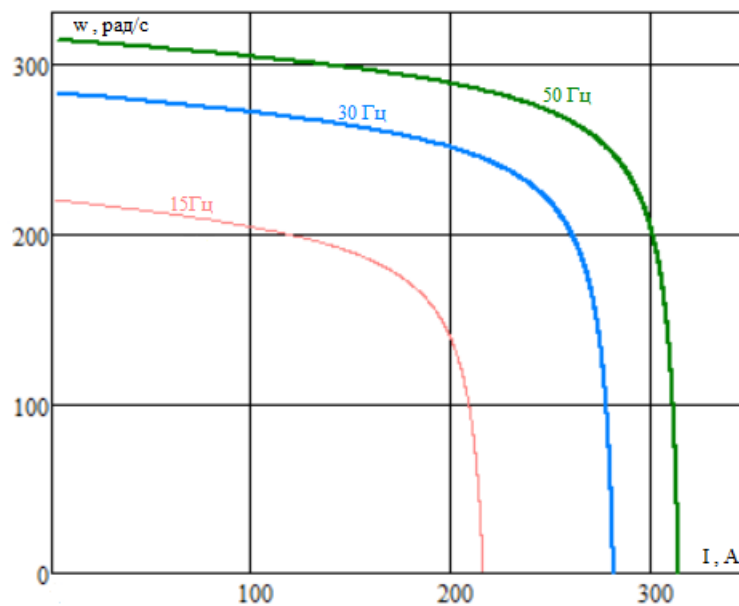


Рисунок 22 – Электромеханические характеристики $I_2' = f(\omega)$

Рассчитаем электромеханические характеристики АД $I_1 = f(\omega)$ при различных значениях частот обмоток статора. Полагая ток намагничивания асинхронного двигателя реактивным ($I_{0A} = 0$), ток статора I_1 через приведенный ток ротора I_2' можно найти по формуле

$$I_1(s) = \sqrt{I_0^2 + I_{2j}'(s)^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_{2j}'(s) \cdot \sin \varphi_{2j}(s)},$$

$$\text{где } \sin\varphi_{2j}(s) = \arcsin \left[\frac{X_{\text{кн}} \cdot f_{1j}^*}{\sqrt{(R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + X_{\text{кн}}^2 \cdot f_{1j}^{*2}}} \right]$$

Выражение для расчета механических характеристик:

$$M(s) = \frac{3 \cdot U_1 \cdot R_2'}{\omega_{0н} \cdot s \cdot \left[X_{\text{к}}^2 \cdot f_1'^2 + (R_1 + \frac{R_2'}{s})^2 + (\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot f_1})^2 \right]}$$

Электромеханические характеристика АД $I_1 = f(\omega)$ представлена на рисунке 22.

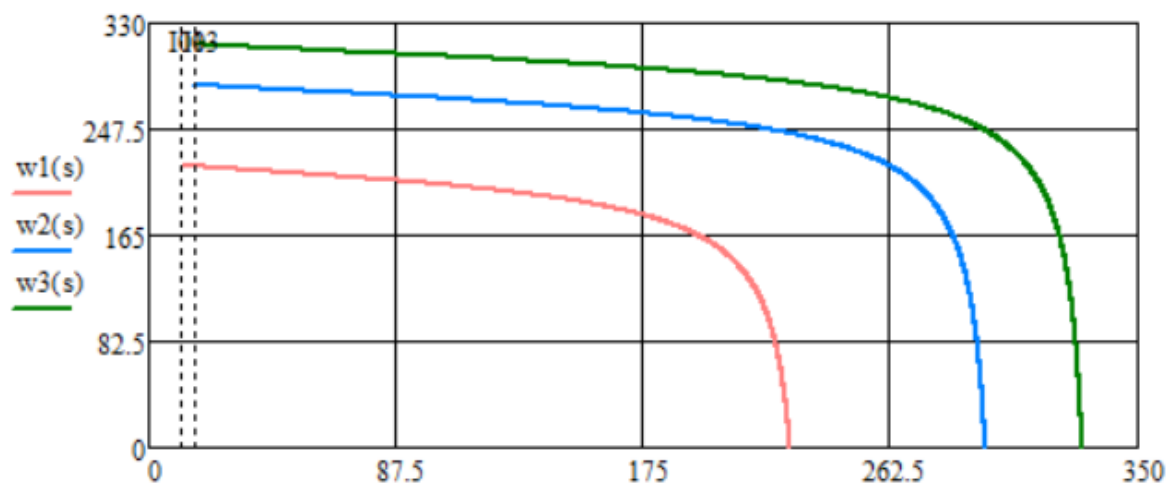


Рисунок 22 – Электромеханические характеристики $I_1 = f(\omega)$

Механическая характеристика АД $M = f(\omega)$ представлена на рисунке 23.

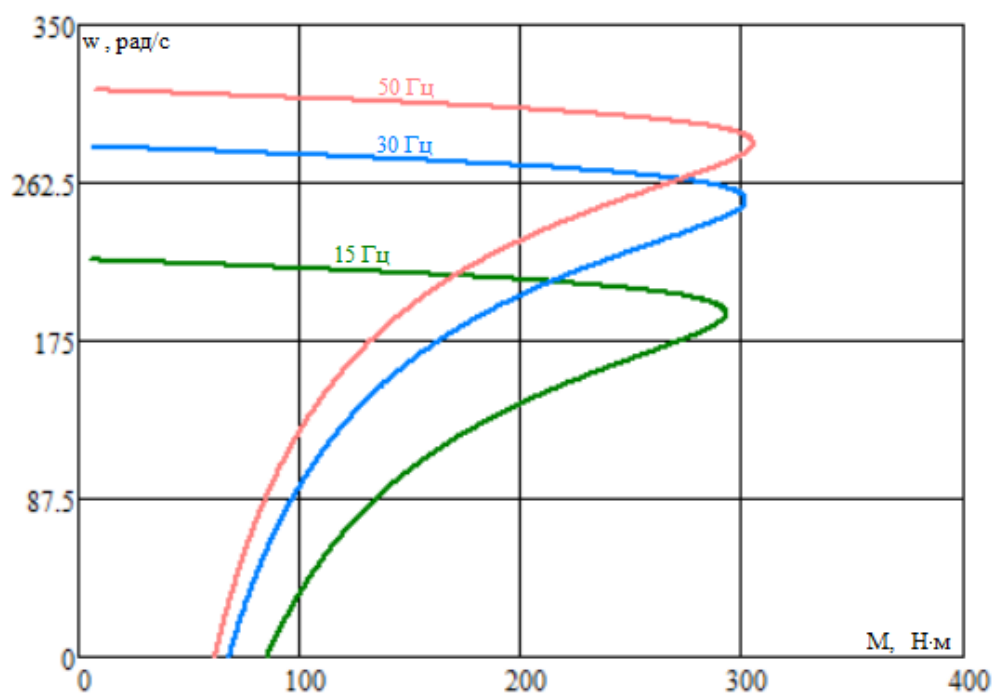


Рисунок 23 – Механические характеристики $M = f(\omega)$

6.5. Динамические характеристики электропривода

Исследуем АД в динамике. Это нужно, потому что параметры схемы замещения АД найдены при помощи методики, у которой может быть погрешность. Моделирование будет производиться в программной среде MATLAB.

Схема имитационной модели АД в программной среде MATLAB-Simulink приведена на рисунке 24.

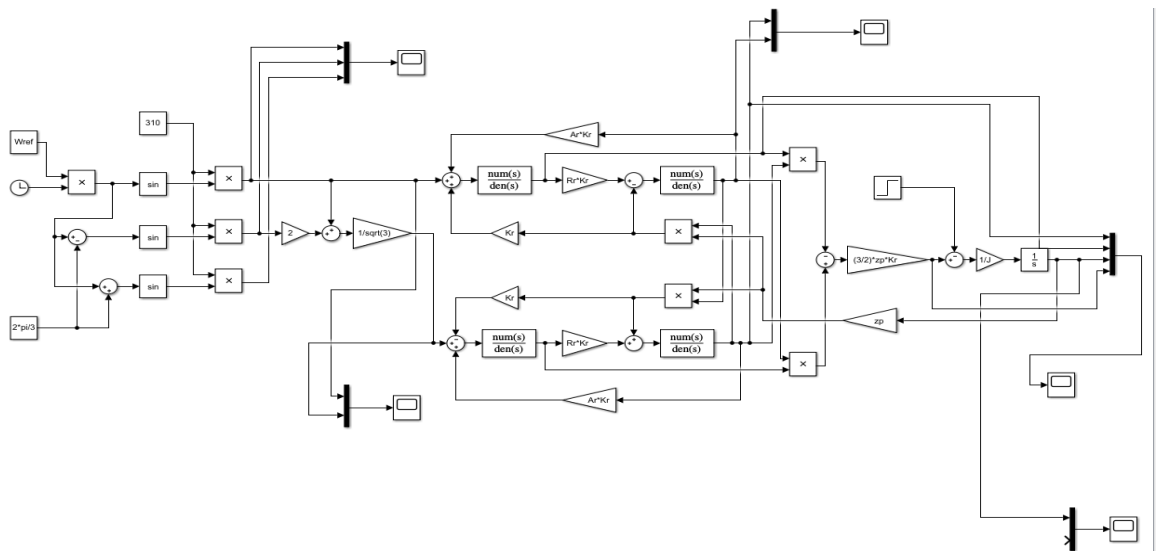


Рисунок 24 – Имитационная модель АД в программной среде MATLAB-Simulink

Графики переходных процессов скорости $\omega = f(t)$, тока $I = f(t)$, и момента $M = f(t)$, при пуске АД прямым включением в сеть приведены на рисунок 25.

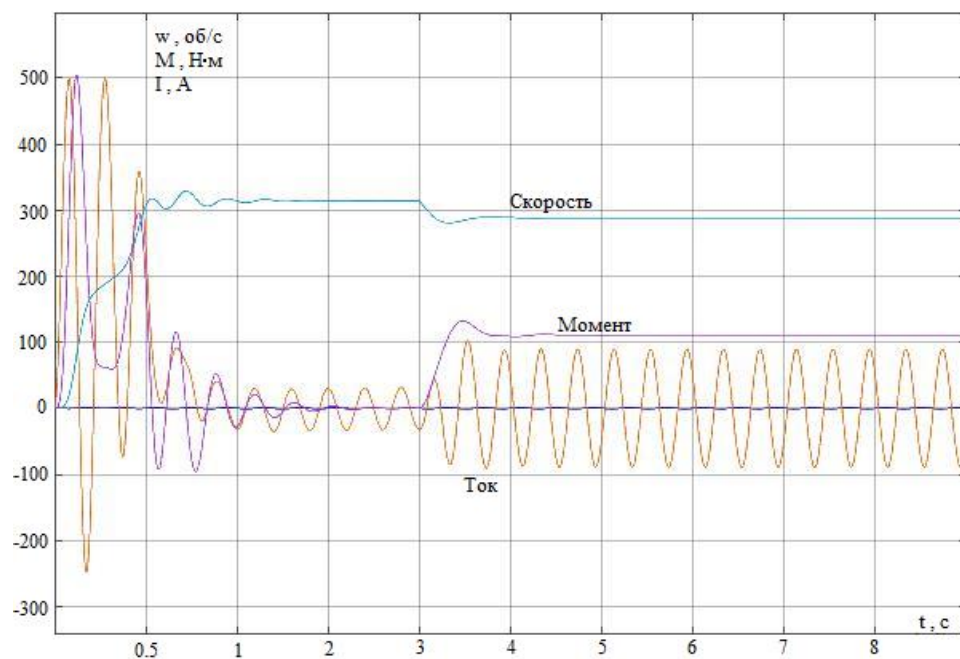


Рис. 25 – Имитационная модель работы привода с нагрузкой в программной среде MATLAB (Прямой пуск)

Строим имитационную модель в программной среде MATLAB и снимаем переходные процессы системы преобразователь частоты-короткозамкнутый асинхронный двигатель.

Имитационная модель системы преобразователь частоты-короткозамкнутый асинхронный двигатель представлена на рисунке 26.

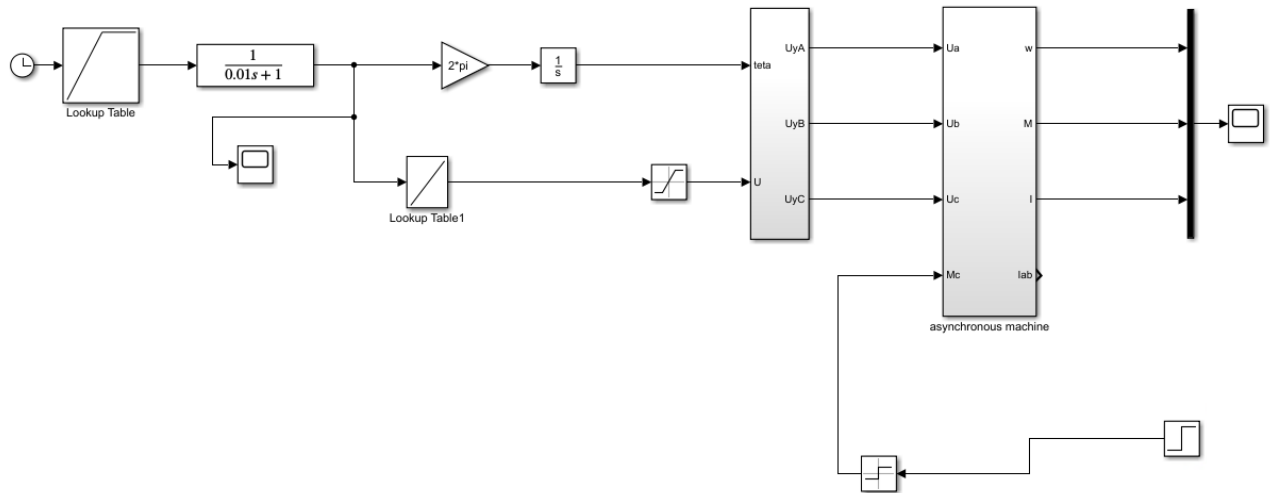


Рисунок 26 – Имитационная модель системы преобразователь частоты-короткозамкнутый АД в программной среде MATLAB-Simulink

Переходные процессы системы управления АД с использованием преобразователя частоты представлены на рисунке 27, 28, 29 и 30.

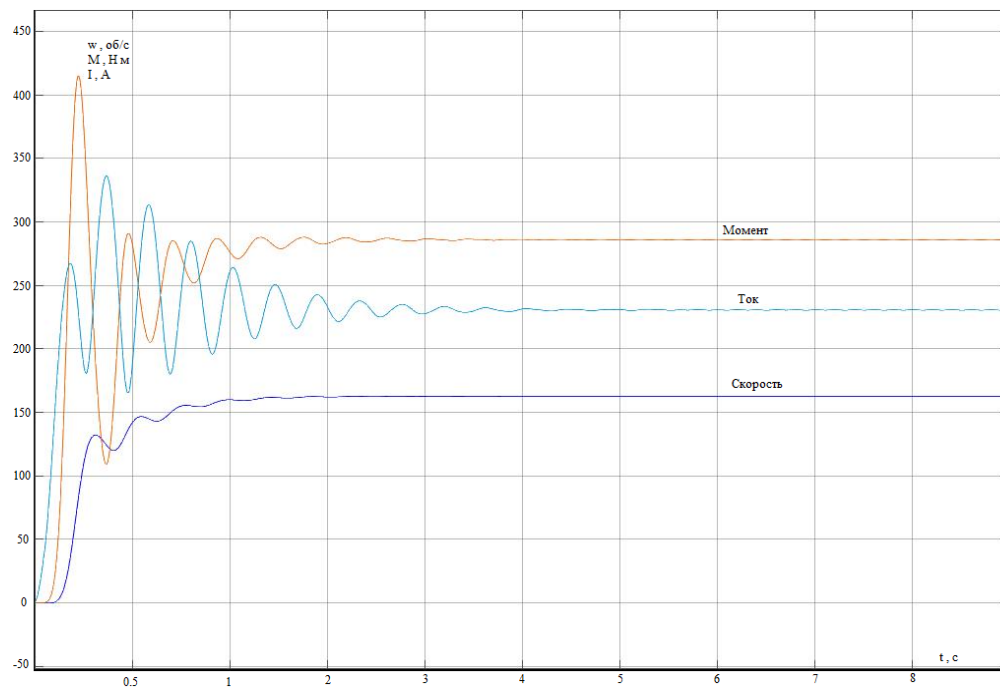


Рисунок 27 – Переходные процессы системы управления АД с использованием преобразователя частоты на частоте 50 Гц

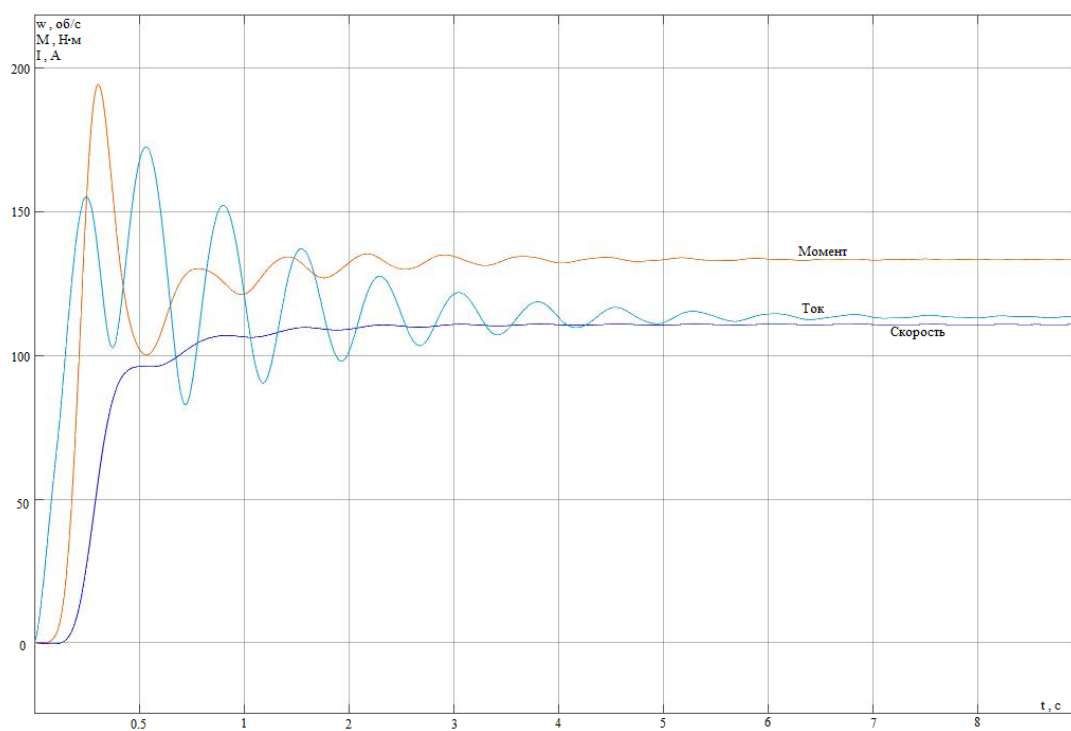


Рисунок 28 – Переходные процессы системы управления АД с использованием преобразователя частоты на частоте 30 Гц

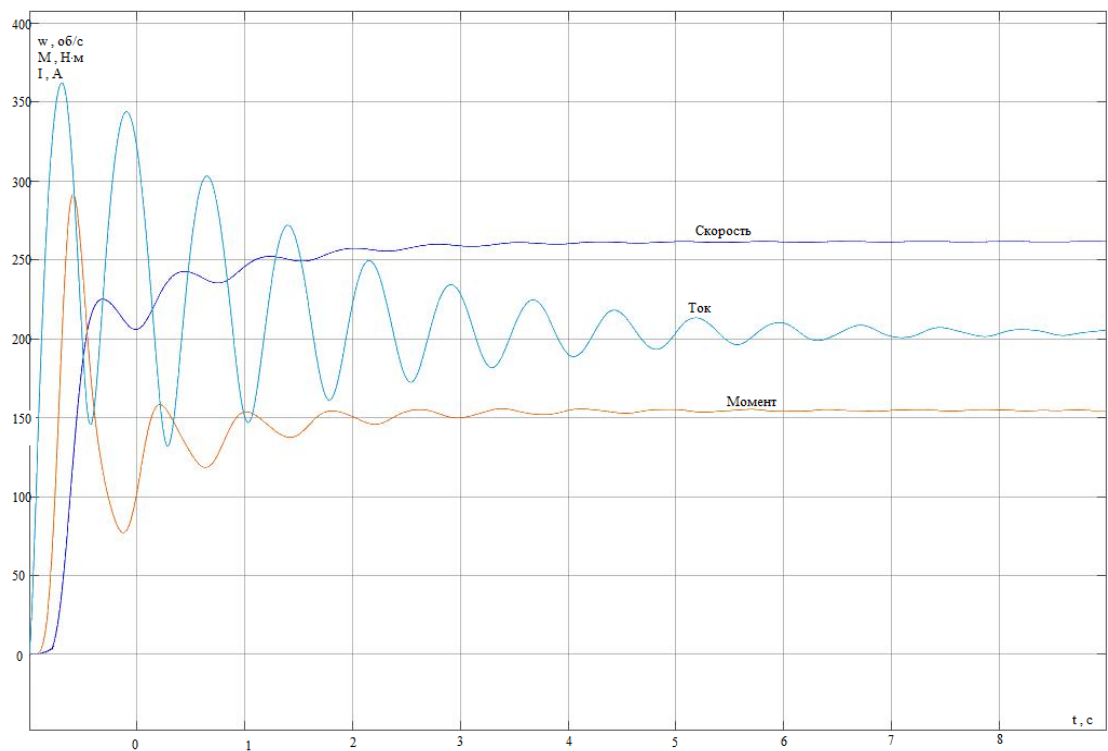


Рисунок 29 – Переходные процессы системы управления АД с использованием преобразователя частоты на частоте 15 Гц

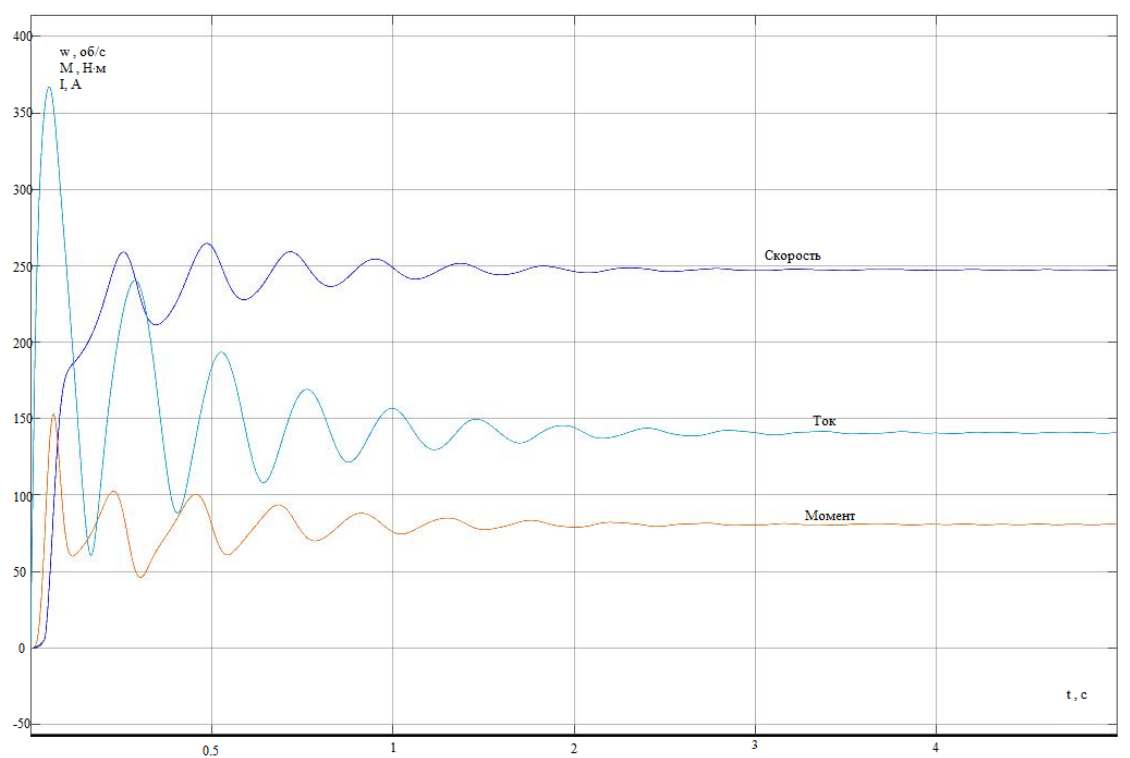


Рисунок 30 – Переходные процессы системы управления АД с использованием преобразователя частоты на частоте 5 Гц

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5А6В	Эрдлей Никите Олеговичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение школы (НОЦ)	Электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ».
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премияльный коэффициент 30%; доплаты и надбавки 20%; дополнительная заработная плата 15%; накладные расходы 16%; районный коэффициент 1,3.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %. (НК РФ)

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Анализ конкурентных технических решений; SWOT-анализ.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Формирование плана и графика проекта: - определение структуры работ; - определение трудоемкости работ; - разработка графика Гантта. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - материальные затраты; - заработная плата; - отчисления во внебюджетные фонды; - накладные расходы; - амортизационные отчисления.
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	- оценка эффективности разработки проекта.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности НИ; 2. Матрица SWOT; 3. График Гантта; 4. График проведения и бюджет НИ.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Е.С.	К.Э.Н.		30.01.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Эрдлей Никита Олегович		30.01.2020

7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В рамках данного раздела выпускной квалификационной работы (ВКР) необходимо провести оценку коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения данного проекта с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения. Будет проведено планирование и формирование бюджета научных исследований, а также определена ресурсная эффективность проводимого исследования.

7.1 SWOT-анализ

SWOT – это акроним слов Strengths (силы), Weaknesses (слабости), Opportunities (благоприятные возможности) и Threats (угрозы). Внутренняя обстановка фирмы отражается в основном в S и W, а внешняя – в O и T.

Анализ проводится в несколько этапов.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Дадим трактовку каждому из этих понятий.

Сильные стороны – это, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность,

которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию..

Результаты SWOT-анализа приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<ul style="list-style-type: none"> 1) Высокое быстродействие; 2) Долгий срок эксплуатации; 3) Универсальность применения окружающей среды; 4) Высокий КПД; 5) Ремонтопригодность. 6) Большой диапазон регулирования скоростей. 	<ul style="list-style-type: none"> 1) Высокая стоимость агрегатов; 2) Большие массогабаритные показатели;
Возможности <ul style="list-style-type: none"> 1) Увеличение производительности; 2) Повышение износостойкости элементов деталей элементов электропривода 3) Внедрение инноваций в системы плавного пуска. 	<ul style="list-style-type: none"> 1) Увеличение количества пропускаемого материала(объектов); 	<ul style="list-style-type: none"> 1) Возможность выхода электропривода из строя; 2) Усложняется процесс ремонта электропривода.
Угрозы <ul style="list-style-type: none"> 1) Развитая конкуренция технологии производства; 2) Таможенные пошлины на зарубежные комплектующие; 3) Введение дополнительных требований к стандартизации и сертификации продукции со стороны государственной инспекции 	<ul style="list-style-type: none"> 1) Благодаря более высокому техническому оснащению, повышается срок и стоимость ремонта; 2) Повышение строгости проверок технического состояния; 	<ul style="list-style-type: none"> 1) Возможность снижения срока окупаемости электропривода; 2) Из-за отсутствия регулирования напряжения, пропадает возможность адаптации к графику нагрузки; 3) Высокая стоимость частей электропривода может оказать влияние на снижение финансирования.

Таким образом, из проделанного анализа видно, что преимущества, которые предоставляет проектирование данного электропривода имеют большее значение по сравнению с угрозами вероятности возникновения, которых крайне мала. Слабые стороны проекта теряют свою актуальность на фоне широких возможностей и высокого потенциала применения данного электропривода, что является весомым критерием для электроприводов.

7.2. Планирование научно-исследовательских работ

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

7.3. Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: руководитель проекта и инженер-проектировщик.

Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ (таблица 5).

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель проекта
Выбор направления исследований	2	Выбор необходимой литературы	Руководитель проекта
	3	Изучение литературы	Инженер-проектировщик
Планирование	4	Составление календарного плана работ	Инженер-проектировщик
			Руководитель проекта

Теоретическое и экспериментальное исследование	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Инженер-проектировщик
	6	Электрический расчет электропривода	
	7	Удельные характеристики электропривода	
	8	Описание конструирования электропривода	
	9	Выполнение чертежа	
Разработка экономической части проекта	10	Анализ конкурентных технических решений	Инженер-проектировщик
	11	Определение бюджета НИ	Руководитель проекта
Теоретические и экспериментальные исследования	12	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель
Обобщение и оценка результатов	13	Составление ПЗ и чертежей	Инженер-проектировщик

Таким образом, составленная таблица этапов работ позволяет определить последовательность выполнения НИ и эффективно распределить роли исполнителей по этапам планирования работ НИ. Как можно увидеть из таблицы, основная нагрузка выполнения работ возлагается на инженера-проектировщика.

7.4. Определение трудоемкости работ

Трудовые затраты в большинстве случаях образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно-учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула[1]:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5},$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями [1]:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. – дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Таким образом, определение трудоемкости работ позволяет рассчитать время, необходимое для выполнения определенного этапа одним исполнителем в чел.-дн. Данный расчет необходим далее для составления календарного графика выполнения работ.

7.5. Разработка графика проведения научного исследования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{366}{366 - 106 - 15} = 1,49.$$

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу 10.

На основе таблицы 5 строится календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта на основе таблицы 10 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней). При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 5–Календарный план-график проведения работ

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях		
	t_{\min} , чел-дни		t_{\max} , чел-дни		$t_{\text{ож}}$, чел-дни					
	Руководитель проекта	Инженер- проектировщик	Руководитель проекта	Инженер- проектировщик	Руководитель проекта	Инженер- проектировщик				Руководитель проекта
Составление и утверждение технического задания	2	—	5	—	3	—	3	—	5	—
Выбор необходимой литературы	—	4	—	7	—	5	—	5	—	9
Изучение литературы	—	3	—	5	—	4	—	4	—	8
Календарное планирование работ по теме	4	—	6	—	5	—	5	—	8	—
Проведение теоретических расчетов и обоснований	—	5	—	8	—	6	—	6		9
Описание схемы расчетного соединения	—	4	—	7	—	5,2	—	6		9
Электрический расчет	—	7	—	9	—	8	—	8		12
Расчет тепловой устойчивости	—	9	—	14	—	11	—	11	—	17
Удельные характеристики	—	2	—	4	—	3	—	3	—	5
Описание конструирования	—	1	—	3	—	2	—	2		3
Анализ полученных результатов	3	4	5	6	4	5	2	3	3	5
Оценка эффективности полученных результатов	6	7	10	11	8	9	4	5	6	8
Построение сборочного чертежа	—	7	—	10	—	8	—	8	—	12
Составление ПЗ	—	8	—	10	—	9	—	9	—	14

На основе таблицы 5 построим календарный план-график (см. таблица 6).

Таблица 6 –Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ													
				февраль					март			апрель				май	
				1-3	4-6	7-12	13-14	15-22	23-2	3-17	18-26	27-1	2-9	10-15	16-21	22-3	4-8
1	Составление и утверждение технического задания	Р	5														
2	Выбор необходимой литературы	И	8														
3	Изучение литературы	И	6														
4	Составление календарного плана работ	Р	8														
5	Расчет баланса мощностей	И	9														
6	Описание схемы расчетного соединения	И	12														
7	Выбор основного электрооборудования	И	3														
8	Выбор коммутационного электрооборудования	И	17														
9	Проектирование измерительной подсистемы	И	8														
11	Анализ конкурентных технических решений	Р, И	5														
12	Определение бюджета НИ	Р, И	8														
13	Анализ воздействия спроектированной электростанции на окр.среду	И	12														
14	Составление ПЗ и чертежей	И	14														

 - Руководитель проекта;  - Инженер-проектировщик

Таким образом, видим, что длительность работ в календарных днях руководителя составляет 26 дней, инженера – 102 дня.

7.6. Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

Планируя бюджет НТИ, мы должны обеспечить полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. При расчете и формировании бюджета НТИ будет использоваться следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

7.7. Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Материальные затраты указаны в таблице 7.

Таблица 7. Материальные затраты

№ п/п	Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за единицу, руб.	Затраты на материалы (Зм), руб.
1	Бумага	Пачка	1	300	300
2	Набор настольный канцелярский	Шт	1	300	300
3	Калькулятор инженерный	Шт	1	300	300
4	Картридж для принтера	Шт	1	2000	2000
5	Папка-скоросшиватель	Шт	1	30	30
Итого					2930

7.8. Основная заработная плата исполнителей темы

На данном этапе работы рассчитывается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада.

Месячный должностной оклад работников:

- Руководитель

$$З_{\text{м}} = З_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.}$$

- Инженер

$$З_{\text{м}} = З_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.,}$$

где $З_{\text{ТС}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3; $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет 0,2; $k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3;

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

- Руководитель

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{лм}}} = \frac{51285 \cdot 10,4}{245} = 2177 \text{ руб.,}$$

- Инженер

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{лм}}} = \frac{33150 \cdot 10,4}{245} = 1407 \text{ руб.,}$$

где $З_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.:

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_{lm} – действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб. дн.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

- Руководитель

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 2177 \cdot 26 = 56602 \text{ руб}$$

- Инженер

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p = 1407 \cdot 102 = 143514 \text{ руб}$$

Где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

$Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Таблица 8 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ТС}$, руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2177	26	56602
Инженер	1700	0,3	0,2	1,3	33150	1407	102	143514
Итого								200116

Основная заработная плата в итоге получилась 200116 руб., что занимает основную часть бюджета затрат проекта.

7.8.Дополнительная заработная плата исполнительской темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.). Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} + З_{\text{осн}},$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (принимается равным 0,12 – 0,15).

Дополнительная заработная плата ($З_{\text{доп}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$З_{\text{осн}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 56602 = 8490 \text{ руб.};$$

Дополнительная заработная плата ($З_{\text{доп}}$) инженера

$$З_{\text{осн}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} = 0,15 \cdot 143514 = 21527 \text{ руб.};$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (принимается равным 0,14).

7.10. Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды: государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) - являются обязательными по законодательству Российской Федерации. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}});$$

Где $k_{\text{внеб}}$ –коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 9

Таблица 9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	56602	8490
Инженер-проектировщик	143514	21527
Коэффициент отчисления во внебюджетные фонды	0,302	
Итоги		
Руководитель проекта	19657,8	
Инженер-проектировщик	49842,4	

7.11. Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии т.д.

Их величина определяется по следующей формуле [1]:

$$\begin{aligned}
 Z_{\text{накл}} &= k_{\text{нр}} \cdot (Z_{\text{м}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}) \cdot 0,16 = \\
 &= 2930 + 166891,6 + 23367,6 + 40435,9) \cdot 0,16 = 37380 \text{ руб.};
 \end{aligned}$$

Прочие затраты организации на услуги связи, печать материалов и т.д. составляют 16 % от суммы всех прочих затрат при выполнении НИ. Их величина составляет 37380 руб.

7.12. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Основой для формирования бюджета затрат проекта является рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы. В свою очередь, бюджет, в процессе формирования договора с заказчиком, защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Бюджет затрат НИ

Наименование статьи	Сумма, руб.	% от общей суммы
Основная ЗП работников	166892	61,6
Дополнительная ЗП	23368	8,6
Отчисления во внебюджетные фонды	40436	14,9
Материальные затраты	2930	1,1
Накладные расходы	37380	13,8
Бюджет затрат НИ	271006	100

Таким образом, было рассчитано минимальное количество денежных средств, необходимых для проектирования частотно регулируемого электропривода на напряжение 50кВ. Полученная сумма составляет 271006 рублей. Данная цифра является вполне удовлетворительна и оптимальна, так как для расчёта не требуется специального испытательного дорогостоящего оборудования. Большая часть затрат приходится на основную заработную плату исполнителей темы (61,6%).

7.13. Определение ресурсной эффективности исследования

Ресурсоэффективность НИ определяется при помощи интегрального критерия ресурсоэффективности, имеющий следующий вид:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i;$$

Где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности НИ;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, которая устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы 12.

Таблица 12 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Бальная оценка исполнения проекта	Бальная оценка аналога
Уровень тех. показателей	0,172	4	4
Удобство в эксплуатации	0,138	4	4
Ремонтопригодность	0,138	4	5
Срок эксплуатации	0,138	4	4
Надежность	0,172	5	4
Затраты на послепродажное обслуживание	0,138	5	5
Итого	1	3,894	3,860

$$I_{p1} = 0,172 \cdot 4 + 0,138 \cdot 4 + 0,138 \cdot 4 + 0,138 \cdot 4 + 0,172 \cdot 5 + 0,138 \cdot$$

$$5 = 3,894;$$

$$I_{p2} = 0,172 \cdot 4 + 0,138 \cdot 4 + 0,138 \cdot 5 + 0,138 \cdot 4 + 0,172 \cdot 4 + 0,138 \cdot 5 = 3,860.$$

Сравнив значения интегральных показателей ресурсоэффективности можно сделать вывод, что реализация технологии в первом исполнении ничуть не уступает другому варианту с позиции ресурсосбережения.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5А6Ж	Эрдлей Никите Олеговичу

Школа		Отделение (НОЦ)	
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электротехника и Электроэнергетика

Тема ВКР:

Регулируемый асинхронный электропривод ленточного конвейера	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Объектом исследования является ленточный конвейер. Объект исследования применяется в различных отраслях промышленности для перемещения и транспортировки горной массы</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	Право на условия труда, отвечающие требованиям безопасности и гигиены. Социальное страхование работника.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Анализ выявленных вредных и опасных факторов: 1.Повышенный уровень шума 2.Повышенный уровень вибрации 3.Отклонение параметров микроклимата 4.Недостаточная освещенность рабочей зоны 5.Поражение электрическим током
3. Экологическая безопасность:	-воздействие на литосферу - воздействие на гидросферу - воздействие на атмосферу
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможная ЧС: Возгорание и пожар

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООД ШБИП	Немцова Ольга Александровна			30.01.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5А6Ж	Эрдлей Никита Олегович		30.01.2020

8. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе конвейерной линии обогатительной фабрики, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение пожаров.

В данном проекте рассматривается частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Преимуществом такого вида электропривода по сравнению с электроприводами постоянного тока является обеспечение требуемой степени защиты. Асинхронные короткозамкнутые машины имеют широкий ряд исполнений с разными степенями защиты. Степень защиты корпусов электродвигателей от попадания механических частиц и проникновения пыли. Это важно для рассматриваемого производства, так как оно связано с высокой концентрацией угольной пыли в окружающей среде и требует степени защиты электрических машин не ниже IP54.

Помещение цеха выполнено из негорючих материалов первой степени огнестойкости. Здание цеха состоит из сборных железобетонных конструкций, которые относятся к негорючим материалам первой степени огнестойкости и имеют предел огнестойкости R120 .

Напряжение питания 220 и 380 В. Электроустановки до 1000 В. Обслуживание поручается лицам, имеющим квалификацию, соответствующую действующим требованиям. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

8.1.Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.

До работ с электроприводом допускаются только обученные и аттестованные инженеры не моложе 18 лет, имеющие образование не ниже 8

классов, годные по состоянию здоровья, что должно быть подтверждено результатами медицинского освидетельствования.

В соответствии с коллективным договором и правилами внутреннего распорядка рабочим считается время, в течение которого работник обязан находиться на рабочем месте и выполнять свои трудовые обязанности.

В соответствии со статьей 94 ТК РФ для работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, установлена сокращенная продолжительность рабочего времени, максимально допустимая продолжительность ежедневной работы (смены) не может превышать: при 36-часовой рабочей неделе - 8 часов.

На предприятии организован непрерывный трудовой процесс в три смены: I смена — с 7 часов утра до 15 часов;

II смена — с 15 часов до 23 часов;

III смена — с 23 часов до 7 часов утра.

Учетным периодом при суммированном учете рабочего времени является календарный месяц. Ночной сменой при указанном режиме признается III смена, а вечерней — II смена.

Когда условия производства (работы) не позволяют предоставить обеденный перерыв, работодатель обязан обеспечить возможность отдохнуть и перекусить в течение рабочего времени ст. 108 Трудового кодекса РФ. В данном случае работодатель организует прием пищи работниками на рабочих местах, продолжительность отдыха и питания длится не более 30 минут. Перечень таких работ, время начала и окончания, и место приема пищи определяются коллективным договором предприятия.

8.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Поскольку электропривод имеет механическую, либо автоматизированную систему управления в которой имеются средства

управления в виде штурвалов (рычагов) необходимо рассмотреть соответствующие требования к ним. Управление электроприводом может осуществляться как сидя, так и стоя.

В соответствии с ГОСТ 22269-76 [1] при размещении органов управления необходимо выполнять следующие эргономические требования:

- органы управления должны располагаться в зоне досягаемости моторного поля;
- наиболее важные и часто используемые органы управления должны быть расположены в зоне легкой досягаемости моторного поля;
- органы управления, связанные с определенной последовательностью действий оператора, должны группироваться таким образом, чтобы действия оператора осуществлялись слева направо и сверху вниз;
- расположение функционально идентичных органов управления должно быть единообразным на всех панелях рабочего места;
- расположение органов управления должно обеспечивать равномерность нагрузки обеих рук и ног человека-оператора.

Штурвал используемый для ручного управления электроприводом должен отвечать общим эргономическим требованиям.

Плоскость вращения маховика, не имеющего рукоятки, и штурвала должна находиться при вращении двумя руками:

сидя - перпендикулярно продольной плоскости симметрии сиденья и под углом от 40 до 90° к горизонтали;

стоя - под углом от 0 до 90° к горизонтали с осью вращения в сагиттальной плоскости тела оператора

Плоскость вращения маховика без рукоятки, вращаемого одной рукой как сидя, так и стоя, должна находиться под углом от 10 до 60° по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки.

Плоскость вращения маховика, снабженного рукояткой должна находиться по отношению к предплечью соответственно действующей (правой или левой) руки под углом:

от 10 до 90° - при вращении кистью с предплечьем и от 10 до 45° - при вращении всей рукой.

Интервал между ободами и другими деталями соседних маховиков, расположенных в одной плоскости, должен быть не менее:

50 мм - при вращении одной рукой последовательно или в случайном порядке;

100 мм - при вращении двумя руками одновременно; 130 мм - при работе в рукавицах или перчатках.

8.3 Производственная безопасность

В данном пункте осуществлен анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при разработке, изготовлении или эксплуатации разрабатываемого регулируемого электропривода движения ленты конвейера. Они могут возникнуть в процессе эксплуатации оборудования.

Чтобы оценить возникновение вредных и опасных факторов, необходимо использовать ГОСТ 12.0.003-2015 [2] «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для производственной среды необходимо представить в виде таблицы.

Таблица 13 - Возможные опасные и вредные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо- тка	Изготов -ление	Эксплуа т-ация	
1.Превышение уровня вибрации		+	+	ГОСТ 12.1.012 - 2004 ССБТ. Вибрационная болезнь. Общие требования. [3]
2.Превышение уровня шума		+	+	
3. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	+	+	
4.Недостаточная освещённость рабочей зоны	+	+	+	СанПин 2.2.4.3359-16 Санитарно- эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. [4] ГОСТ 12.1.019-2017 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и Номенклатура видов защиты. [5]
5. Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	

8.4. Анализ вредных и опасных факторов

1.Повышенный уровень вибрации

Вредным производственным фактором является вибрация - механические колебания твердых тел, передаваемые организму человека. Источником вибрации являются дещламационные и цилиндрические грохоты. Колебания могут быть причиной расстройства сердечнососудистой и нервной системы, а также опорно- двигательной системы человека. Параметры вибрации регламентируются санитарными нормами. В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [8] пункт 6.1 предельно допустимые уровни вибрации не должны превышать значений, приведенных в таблице 14.

Таблица 14 – Предельно допустимые значения виброускорения и виброскорости

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X,Y,Z			
	виброускорения		виброскорости	
	м/с ²	дБ	м/с·10 ⁻²	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109

Снижение неблагоприятного воздействия вибрации ручных механизированных устройств на операторов достигается как путем уменьшения интенсивности вибрации непосредственно в ее источнике (за счет конструктивных усовершенствований), так и средствами внешней виброзащиты, которые представляют собой упругодемпфирующие материалы и устройства, размещенные между источником вибрации и руками оператора.

В качестве средств индивидуальной защиты, работающих используют специальную обувь на массивной резиновой подошве. Для защиты рук служат рукавицы, перчатки, вкладыши и прокладки, которые изготавливают из упругодемпфирующих материалов.

2.Повышенный уровень шума

Опасности психологической группы связаны с шумом в обслуживании линии, что приводит к снижению внимания, повышению травматизма. Источниками шума являются грохоты, дробилки, конвейер в рабочем состоянии. В горно-обогатительном производстве шум достигает 75—80 дБ.

При превышении уровня шума в рабочей зоне от 80 дБА, наниматель должен провести оценку риска здоровью персонала и подтвердить приемлемый риск здоровью.

Предельно допустимые уровни шума в таблице приведены 15.

Таблица 15 - Предельно допустимые уровни шума

Рабочее место	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									По шкале, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Цех	107	95	87	82	78	75	73	71	69	80
Щит управления	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65

В соответствии с СанПин 2.2.4.3359-16 [9], главные санитарные нормы уровня шума на рабочих местах следующие – это 80 дБА. – пункт 3.2.2.

Максимальные уровни звука А, измеренные с временными коррекциями S и I, не должны превышать 110 дБА и 125 дБА соответственно. А пиковый уровень звука С не должен превышать 137 дБС. – пункт 3.2.5.

Все оборудование, применяемое на участке обработки, для снижения шума установлено на виброопорах. Для защиты органов слуха применяют: наушники, антифоны, беруши.

3. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Безопасность на производстве в значительной мере зависит от освещения. Свет влияет на физиологическое состояние человека, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму.

В соответствии с ГОСТ Р 55710-2013 [10] средняя освещенность на рабочих местах с постоянным пребыванием людей должна быть не менее 200 лк. Равномерность освещенности должна быть не менее 0,40 для зоны непосредственного окружения; 0,10 - для зоны периферии. При равномерности освещенности 0,10 освещенность поверхностей должна быть не менее 50 лк на стенах, 30 лк - на потолке.

Согласно ГОСТ Р 55710-2013 [10] Освещенность рабочего места оператора соответствует характеру зрительной работы и относиться разряду - IV Г и должна удовлетворять следующим табличным данным табл. 16:

Таблица 16 - Нормы освещенности на рабочем месте

Наименование помещения	$E_{\text{экс}}$, лк
Рабочее место	200

В дневное время достигается нормальная освещенность за счет естественного света, который проникает через окна, а в утреннее и вечернее время нормальная освещенность достигается за счет искусственного освещения – лампами.

Такое освещение обеспечивает безопасную рабочую зону для здоровья сотрудников, так как входит в допустимое значение освещенности рабочей зоны.

4. Опасность поражения электрическим током

Применяемое в производственном процессе электрооборудование напрямую влечет за собой возможность поражения электрическим током, последствия которого могут быть в виде ожогов участков кожи тела, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон, электролиза крови, и как следствие, нарушения нормального функционирования организма, а также опасного возбуждения клеток и тканей организма, в результате чего они могут погибнуть.

К работам по наладке электропривода допускаются не менее двух человек по письменному разрешению руководителя. При настройке схем, замене предохранителей и т.д. необходимо использовать приборы и средства защиты, предназначенные для работ на электроустановках до 1000 В. При наладке привода необходимо применение запрещающих и предупреждающих плакатов. Испытание электропривода осуществляется сначала на холостом ходу, а затем под нагрузкой.

Для того, чтобы исключить возникновения поражения электрическим током, в соответствии с ГОСТ 12.1.019 – 2017 [5] рекомендуется проводить организационные мероприятия, такие как:

- произвести изолирование токоведущих частей, исключающее возможность случайного прикосновения к ним;
- производить технический осмотр оборудования;
- соблюдение условий эксплуатации, а также сборки и установки оборудования согласно конструкторской документации;
- произвести установку защитного заземления;

- оснастка помещения всеми необходимыми предписанию нормами для электробезопасности;
- проводить инструктаж по технике безопасности персоналу, работающему с оборудованием;
- обеспечение свободного прохода;
- использовать плавкие предохранители и автоматические выключатели для защиты от КЗ;
- обучение мероприятиям по работе с электрическими приборами.

К средствам защиты от удара электрическим током, относятся резиновые галоши, коврики, изоляция инструмента и т.д., должны проверяться перед каждым использованием.

5.Отклонение показателей микроклимата

В основу нормирования микроклимата положены условия, при которых организм человека сохраняет нормальный тепловой баланс за счет определенных физиологических процессов (прилив крови к кожному покрову, потоотделение и др.), благодаря которым осуществляется терморегуляция, обеспечивающая сохранение постоянной температуры тела путем теплового обмена с внешней средой. При несоблюдении норм микроклимата снижается работоспособность человека, возрастает опасность возникновения травм и ряда заболеваний, в том числе профессиональных.

Работы оператора по обслуживанию конвейера относятся к категории средней тяжести 2а (физическая средней тяжести, энергозатраты до 200 ккал/ч).

Температура, относительная влажность и скорость движения воздуха в кабине управления должны соответствовать для категорий работ средней тяжести IIa значениям, указанным в табл. 17 СанПиН 2.2.4.548–96 [7] - замечание выше пункт 5.3.

Таблица 17 - Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	IIa	19-21	18-22	60-40	0,2
Теплый	IIa	20-22	19-23	60-40	0,2

Отклонение условий микроклимата может привести к резкому снижению работоспособности и даже к профессиональным заболеваниям.

Для того, чтобы защитить организм рабочего от неблагоприятного воздействия параметров микроклимата, необходимо наличия в кабине крановщика специальных терморегулирующих приборов, в зимнее время необходимо дополнительно установить утеплители.

8.5 Экологическая безопасность

При эксплуатации электропривода возникает вредное воздействие на гидросферу, атмосферу и литосферу.

На гидросферу эксплуатация электропривода влияет следующим образом:

Возникновение жидких отходов – отходы, образующиеся на территории производственных объектов, состоящие из попутных вод, производственных сточных вод, дождевых стоков и бытовых сточных вод.

Утилизация жидких осуществляется посредством канализационной системы с дальнейшей очисткой на очистных сооружениях.

На атмосферу эксплуатация электропривода влияет следующим образом: При эксплуатации электропривода образуются газообразные отходы -пыль, опасные пары и аэрозоли, жидкие отходы – лакокрасочные покрытия, смазочные материалы, сточные воды, твердые отходы – металлические части, изоляция.

Выделяются газообразные отходы такие как: углекислый газ, пары воды; выбросы промышленных печей; отходящие газы технологических установок; выбросы вентиляционных установок.

Газообразные отходы нуждаются в очистке. Для этого применяются различные пылеуловители и фильтры (волокнистые, кассетные, зерновые, масляные).

При аварийных ситуациях, таких как короткое замыкание, возможно возгорание обмотки статора электродвигателя. Изоляционный материал при горении выделяет опасные пары, загрязняющие атмосферу. На обмоточном участке в процессе работы образуются такие вещества как пыль, и аэрозоли. Для их удаления применяют вытяжную вентиляцию, для снижения выбросов этих веществ в атмосферу применяют фильтры.

Для утилизации этих отходов и самого готового изделия необходимо провести следующие мероприятия:

- отделить металлические и неметаллические части (отходы);
- металлические части (обмоточный провод, сердечники, валы, п...
- неметаллические части сортируются и подвергаются специальной переработке или утилизации.

На литосферу работающий электропривод оказывает вибрационное воздействие, так как является источником вибрации. Со временем наиболее чувствительные к сотрясению рыхлые неуплотненные слои почвы начнут

смещаться и уплотняться. При этом структурные связи почвы нарушаются и, вероятно, внезапное разжижение и образование оползней и отвалов.

Чтобы предупредить вредное влияние электропривода на литосферу необходимо устанавливать виброопоры и демпфирующие элементы.

Целями современной промышленности в целом являются переход на полностью безотходное производство, минимизация отходов и использование вторичного сырья. Эти цели могут быть решены только с помощью комплексного подхода, включающего решение технологических, организационных, конструкторских задач.

Чтобы существенно снизить негативное воздействие на окружающую среду необходимо максимально снизить время проводимых работ.

8.6 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

В данном разделе рассматриваются возможные и типичные чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть при эксплуатации регулируемого электропривода движения ленты конвейера.

В рассматриваемом технологическом процессе может возникнуть пожар из-за короткого замыкания, вызывающих высокую температуру нагревания проводников, что приводит к воспламенению изоляционного материала.

На рабочем месте каждый электропривод оборудования должен быть оснащен защищенной аппаратурой. Должна быть предусмотрена блокировка и защита на случай короткого замыкания и перегрузок. Установлены системы предотвращения пожара и противопожарной защиты.

В случае возникновения пожара необходимо срочно завершить работу с оборудованием и покинуть помещение. Вызвать пожарную бригаду и оставаться на безопасном расстоянии от производственного здания, где произошел пожар.

Для исключения возможности возникновения пожара и взрыва, рекомендуется проводить следующие организационные мероприятия:

- обязательное соблюдение всех правил технической эксплуатации регулируемого электропривода движения ленты конвейера;
- проверка наличия и исправности первичных средств пожаротушения;
- прохождение противопожарного инструктажа.

Также на производстве может возникнуть взрыв в результате короткого замыкания.

В процессе эксплуатации электропривода возможно возникновение короткого замыкания, что может привести к взрыву оборудования, а также нанести ущерб здоровью людей. Чтобы предотвратить данную чрезвычайную ситуацию, необходимо соблюдать следующие правила:

Проводить организационные мероприятия:

- Проводить техосмотр;
- Соединять рабочие органы проводами необходимого сечения и соответствующего материала

Для исключения возможности возникновения взрыва, рекомендуется проводить следующие мероприятия:

•Эксплуатационные мероприятия:

1. Соблюдение техники безопасности при работе оборудования;
2. Соблюдение норм эксплуатации оборудования;
3. Обеспечение свободного прохода;
4. Содержание оборудования в исправном состоянии.

Выводы по разделу

В результате выполнения анализа вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации регулируемого электропривода движения ленты конвейера, а также во время его проектирования, были выявлены характерные чрезвычайные ситуации, а также меры по их устранению. Данные исследования, проведенные в рассматриваемом разделе, могут быть использованы в реальных условиях эксплуатации регулируемого электропривода движения ленты конвейера.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был рассмотрен электропривод конвейера по системе преобразователь частоты.

Были рассчитаны параметры схемы замещения для двигателя, рассчитаны и построены электромеханическая характеристика, а также механическая характеристика при работе на холостом ходу и при работе на конвейерную нагрузку. Исходя из полученных результатов был сделан вывод, что привод полностью обеспечивает заданную область работы.

Рассчитаны все необходимые параметры которые были использованы для построения структурной схемы в среде MatlabSimulink 2019a. Провели сравнение двух схем: для холостого и для плавного пуска. Исходя из полученных графиков переходных процессов был сделан вывод, что устройство плавного пуска, на основе преобразователя частоты помогает избежать всех неблагоприятных воздействий на электропривод, возникающих при холостом пуске. Снижается пусковой ток электродвигателя, уменьшаются колебания механического момента в кинематике, что ведет к значительному увеличению срока службы двигателя, повышению его надежности. Также позволяет полностью избежать негативного влияния двигателя на питающую сеть, проявляющуюся в уменьшении напряжения, позволяет регулировать скорость вращения двигателя за счет преобразования частоты.

Литература

1. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учебное пособие / Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.
2. Чернышев А.Ю., Кояин Н.В. Проектирование электрических приводов: Учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005.
3. Электрический привод: Учеб пособие для студ. Учреждений сред. проф. Образования –М.: Мастерство: Высшая школа, 2000.–368с.
4. Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. – м.: Высшая школа, 2006. – 399 с.
5. ГОСТ 12.0.003-2015 (СТ СЭВ 790-77). « Опасные и вредные производственные факторы. Классификация »
6. ГОСТ 12.1.005-88 « Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны »
7. ГОСТ 12.1.003-2014 « Шум. Общие требования безопасности »
8. Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
9. ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т « Пожарная безопасность. Общие требования »
10. СП 9.13130.2009 « Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации »
11. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
12. СНиП П-12-77. « Защита от шума »
13. СНиП 2.04. 05-91. « Отопление, вентиляция и кондиционирование »
14. ГОСТ 12.1.019 -79 (с изм. №1) ССБТ. « Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты »

15. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. « Обучение работающих безопасности труда »
16. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. « Защитное заземление, зануление »
17. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. « Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов »
18. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. « Вибрационная безопасность. Общие требования »
19. Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12. 2014) «Об организации сбора, вывоза, утилизации, и переработки бытовых и промышленных »
20. Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681 « Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств »
21. ГОСТ Р 50571.3-94 «Электроустановки зданий. Часть 4. Защита от поражения электрическим током».
22. ТК РФ, статья 212. Обязанности работодателя по обеспечению безопасных условий и охраны труда
23. ТК РФ, Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников.
24. ТК РФ, Статья 213. Медицинские осмотры некоторых категорий работников.
25. ТК РФ, статья 117. Ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.
26. Федеральный закон от 24.07.1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний».
27. ТК РФ, статья 92. Сокращенная продолжительность рабочего времени.

28. ТК РФ, статья 147. Оплата труда работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

29. ГОСТ Р 57678-2017. «Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Ликвидация строительных отходов»

30. Правила устройства электроустановок – 7-е изд. М.: Энергоатомиздат, 2011.

31. ГОСТ 12.0.004–90 ССБТ. «Обучение работающих безопасности труда»

32. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ. «Защитное заземление, зануление»

33. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов»